

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Sanace nestabilního silničního násypu armovanou zeminou
Repair of Unstable Road Embankment by Using Reinforced Soil**

Student:

Jakub Kohoutek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Barbara Luňáčková Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kohoutek**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: Sanace nestabilního silničního násypu armovanou zeminou
Repair of Unstable Road Embankment by Using Reinforced Soil
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- Vysvětlení pojmu armovaná zemina, oblast použití.
- Materiály používané do armovaných svahů.
- Návrh a posouzení konkrétního armovaného svahu pomocí programu GEO5.
- Zhodnocení výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Staněk, J., Kořínek, R. *Mechanika zemin - Stabilita svahů*. ES VŠB, 1991. ISBN 80-7078-103-3.
Abramson, L. W. *Slope stabilization and stabilization methods*. John Wiley and Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-10622-4
LAMBOJ, Ladislav a Zdeněk ŠTĚPÁNEK. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Vyd. 1. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2005, 218 s. ISBN 978-80-01-03094-3

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Barbara Luňáčková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prehlasujem, že:

- bol som zoznámený s tým, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, hlavne § 35 užití diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školných predstavení a užití diela školného a § 60 - školné dielo.
- beriem na vedomie, že Vysoká škola banská Technická univerzita Ostrava (ďalej iba VŠB-TUO) má právo neziskovo ku svojej vnútornej potrebe bakalársku prácu užiť (§ 35 odst. 3).
- súhlasím s tým, že jeden výtlačok bakalárskej práce bude uložený v Ústrednej knižnici VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu. Súhlasím s tým, že údaje o bakalárskej práci budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrú licenčnú zmluvu s oprávnením užiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bolo zjednané, že užiť svoje dielo - bakalársku prácu alebo poskytnúť licenciu k jejmu využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takomto prípade odo mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).
- beriem na vedomie, že odovzdaním svojej práce súhlasím so zverejnením svojej práce podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnenia ďalších zákonov (zákon o vysokých školách), v znení neskorších predpisov, bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

V Ostrave ...29.4.2016...

.....*Školárček*.....
podpis študenta

Prehlásenie študenta

Prihlasujem, že som celou bakalársku prácu v rátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave ..29. 4. 2016

.....*Kochanek*.....

podpis študenta

KOHOUTEK, Jakub. *Bakalářská práce*. Ostrava 2016. 44 str. Bakalářská práce. VŠB - TU Ostrava. Fakulta stavební. Katedra geotechniky a podzemního stavitelství. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Barbara Luňáčková. Ph.D.

Anotácia

Cieľom bakalárskej práce je posúdenie stability svahu kde v dôsledku nefunkčného priepustku došlo k deformácii cestného telesa a následné posúdenie stability svahu po sanácií armovanými zeminami. V úvode sa práca zaoberá geomorfológiou, geológiou a hydrogeológiou záujmového územia. V ďalších krokoch je rozoberané podložie na mieste stavby, zhodnotenie zemín a posúdenie prečo došlo k deformácií cestnej komunikácie. Ďalej sa práca zaoberá technológiou armovaných zemín. Nasleduje popísanie sanácie stavby a modelová analýza. Veľa priestoru bakalárskej práce je venované modelovaniu stability svahu a vystužených násypov v programe GEO5. Na záver bakalárskej práce je zhodnotenie aká dĺžka geovýstuh je potrebná pre vyhovujúcu stabilitu svahu.

Kľúčové slová

Svojkov, stabilita svahu, sanačné opatrenie, priepustok vody

Abstract

The goal of this work is to assess the stability of the slope where due to dysfunctional culvert there was a distortion of the road body and the subsequent assessment of slope stability for remediation of reinforced soil. At the beginning of the work deals with geomorphology, geology and hydrogeology of the area of interest. The next steps are discussed bedrock at the building site, soil evaluation and assessment of the reasons why the deformations of the road. Furthermore, the work deals with technology of reinforced earth. Followed describe remediation construction and model analysis. A lot of room bachelor of the modeling slope stability and reinforced embankments in the program GEO5. Finally, this thesis is to evaluate what length geo brace is necessary for satisfactory stability of the slope.

Keywords

Svojkov, slope stability, sanation measures, culvert water

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| 2 | Geomorfológia, geológia, hydrológia | 3 |
| 2.1 | Geomorfológia..... | 3 |
| 2.2 | Geomorfológia Libereckého kraja..... | 3 |
| 2.3 | Geomorfológia záujmového územia..... | 5 |
| 2.4 | Svahová nestabilita | 6 |
| 2.5 | Geológia..... | 7 |
| 2.6 | Geologická mapa záujmového územia | 8 |
| 2.7 | Geológia v oblasti stavby | 9 |
| 2.8 | Fotografická dokumentácia sondy | 11 |
| 2.9 | Hydrogeológia | 12 |
| 3 | Výpočtové metódy a modely..... | 13 |
| 3.1 | Pettersonova metóda..... | 13 |
| 3.2 | Bishopová metóda | 15 |
| 3.3 | Popis programu GEO5..... | 16 |
| 3.4 | Výstupy vypočítaných modelov | 19 |
| 3.5 | Modelová analýza stavu pred rekonštrukciou | 21 |
| 4 | Sanácia svahového telesa dopravnej komunikácie..... | 24 |
| 4.1 | Technická správa geológa | 24 |
| 4.2 | Armované svahy, technológia, typu požitých zemin, výšky vrstiev | 24 |
| 4.3 | Založenie násypu a jeho skladba | 29 |
| 4.4 | Odvodnenie násypu | 31 |
| 4.5 | Posúdenie armovaného svahu programom GEO5 – vystužené násypy | 32 |
| 4.5.1 | Posúdenie | 33 |

| | | |
|-------|-----------------------------|----|
| 4.5.2 | Posúdenie na únosnosť | 34 |
| 4.5.3 | Posunutie po výstuži..... | 35 |
| 4.5.4 | Vnútoraná stabilita | 36 |
| 4.5.5 | Globálna stabilita..... | 37 |
| 4.6 | Modelácia výstuh..... | 38 |
| 5 | Záver..... | 39 |

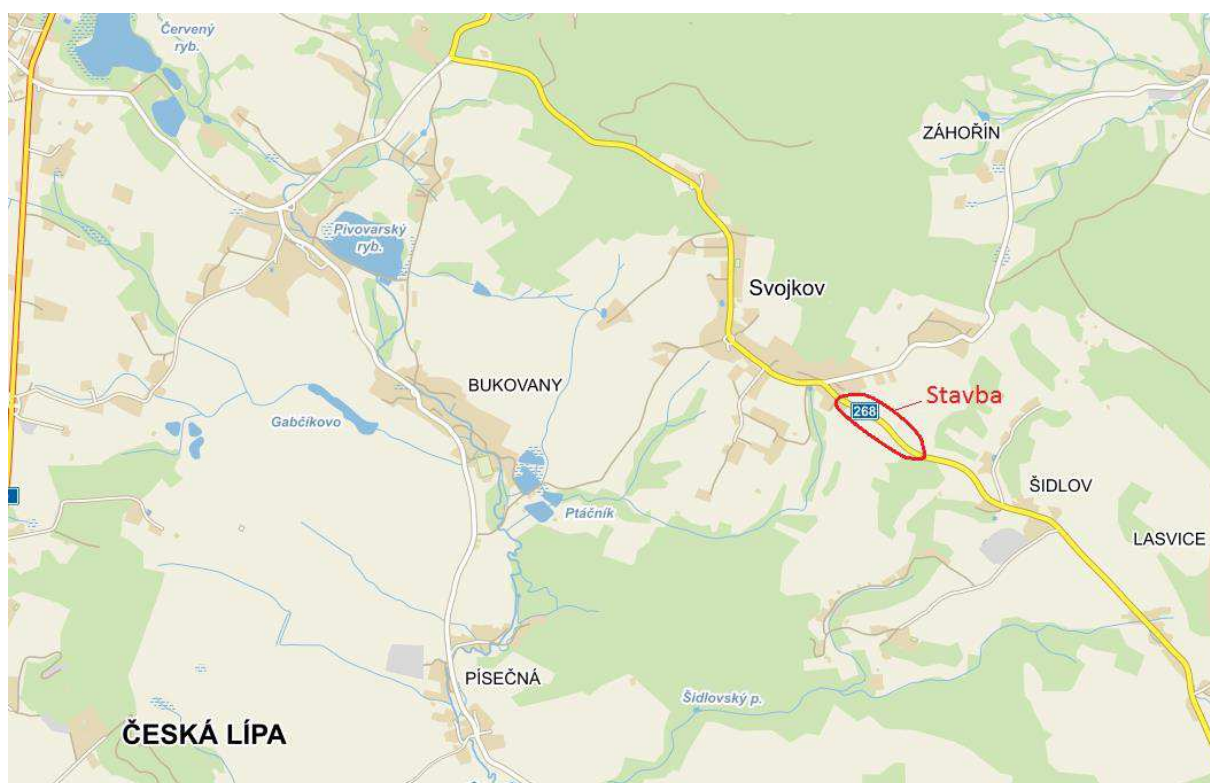
Použité značenia

| | | |
|------------------------|---|--|
| γ | - | objemová tiaž prirodzene vlhkej zeminy [kNm^{-3}] |
| γ_{sat} | - | objemová tiaž saturované zeminy [kNm^{-3}] |
| c | - | súdržnosť [kPa] |
| φ | - | uhol vnútorného trenia zeminy [$^{\circ}$] |
| b_i | - | šírka prúžku [m] |
| U_i | - | pórový tlak na prúžku [kPa] |
| c_{ef}, φ_{ef} | - | efektívne hodnoty šmykových parametrov zemín [$kPa; ^{\circ}$] |
| c_u, φ_u | - | totálne hodnoty šmykových parametrov zemín [$kPa; ^{\circ}$] |
| W_i | - | tiaž prúžku [N] |
| N_i | - | normálová sila na úseku smykovej plochy [N] |
| α_i | - | sklon úseku šmykovej plochy [$^{\circ}$] |
| l_i | - | dĺžka úseku šmykovej plochy [m] |
| M_{res} | - | moment vzdorujúci [kN/m] |
| M_{orv} | - | moment klopiaci [kN/m] |
| H_{res} | - | vodorovná sila vzdorujúca [kN/m] |
| H_{act} | - | vodorovná sila posunujúca [kN/m] |
| e_{alw} | - | dovolená excentricita |
| σ | - | napätie v základovej škáre [kPa] |
| R_d | - | únosnosť základovej pôdy [kPa] |
| R_t | - | únosnosť na pretrhnutie [kN/m] |
| F_x | - | sila v geovýstuhe [kN/m] |

| | | |
|----------------------|---|------------------------------------|
| T_p | - | posúdenie na vytrhnutie [kN/m] |
| S | - | stred |
| r | - | polomer [m] |
| α_1, α_2 | - | uhly [$^\circ$] |
| HPV | - | hladina podzemnej vody [m] |
| $m \text{ n. } m$ | - | metre nad morom |

1 Úvod

V Libereckom kraji, severovýchodne od Českej Lípy, sa nachádza obec Svojkov. Východne od tejto obce došlo k porušení komunikácie II/268 (2014/2015) a havárii priepustku (obr. 1). Príčinou poruchy bolo nefunkčné odvodnenie tejto komunikácie, vďaka ktorému došlo k presýteniu telesa komunikácie a k jeho deformácií. Celková dĺžka dotknutého úseku je 283 m.



Obrázok 1: Prehľadná situácia oblasti stavby – Svojkov [14]

V rámci opráv na komunikácií bolo potrebné nové založenie násypu. Oprava komunikácie začína v 48,907 km a končí v 49,031 km. Úsek opravy komunikácie dosahuje dĺžku 124 metrov (obr. 2). Návrh opravy zachováva stavajúci stav smerového riešenia komunikácie. Výškové riešenie bolo upravené v mieste prepadu.

2 Geomorfológia, geológia, hydrológia

2.1 Geomorfológia

Česká republika sa rozdeľuje na dva systémy. Takmer celá časť Moravy patrí do Alpsko-himalájskeho systému. Zvyšná časť Českej republiky patrí do Hercýnskeho systému. Z hľadiska provincií sa ďalej Alpsko-himalájsky systém rozdeľuje na Karpaty a Viedenskú panvu. Hercýnsky systém sa delí na Stredopoľské nížiny a Českú vysočinu, ktorá sa rozprestiera na značnom území Českej republiky. Česká vysočina sa skladá z ďalších celkov ktoré sa nazývajú geomorfologické sústavy. Do týchto sústav patrí Krušnohorská, Šumavská, Poberounská, Českomoravská, Krkonoško-jesenická sústava a Česká tabuľa (obr. 3). [10; 15]

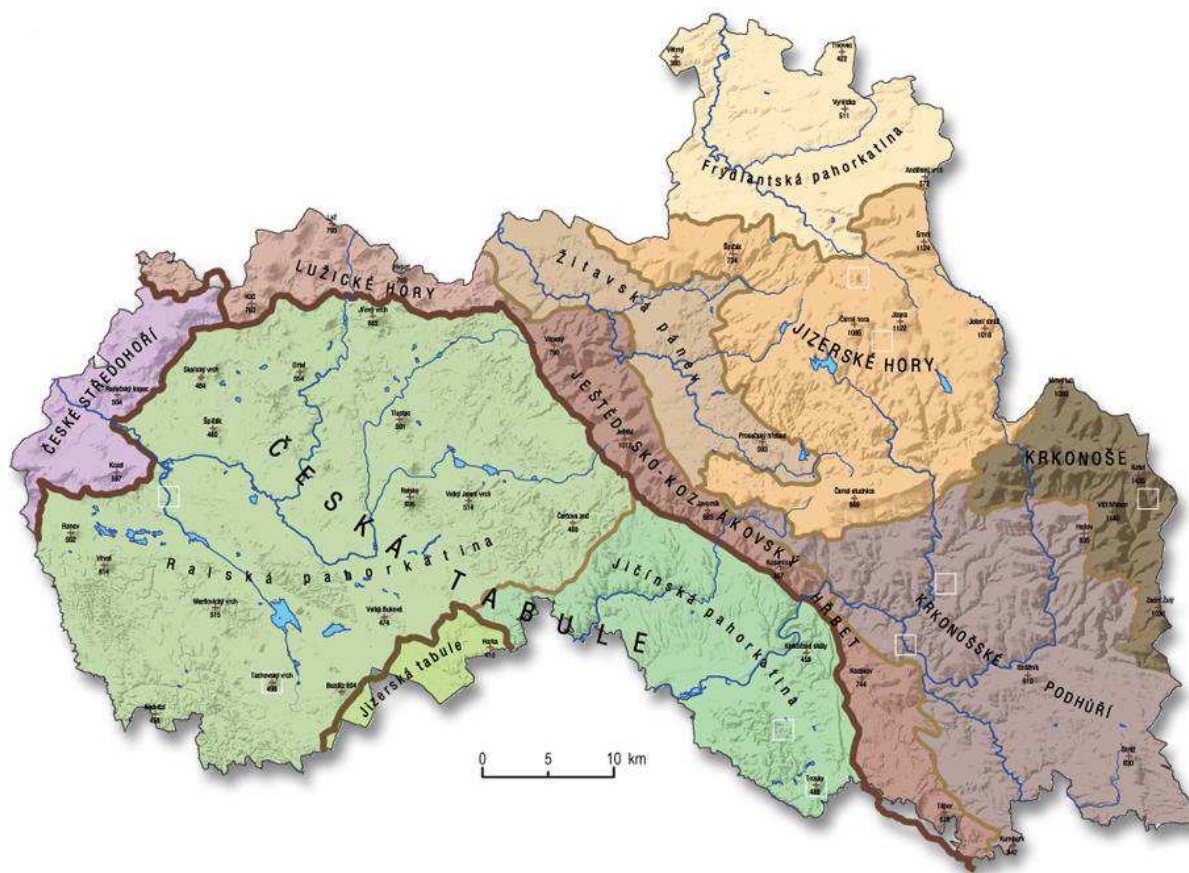


Obrázok 3 : Vyššie geomorfologické jednotky v ČR [6]

2.2 Geomorfológia Libereckého kraja

Oblasť záujmového územia sa nachádza v Libereckom kraji. Reliéf Libereckého kraja je veľmi pestrý. Kraj rozdeľuje na dve časti Ještědsko-kozákovský hřbet, ktorý pokračuje až do Lužických hor. Pravá časť Libereckého kraja tvorí Krkonoško-jesenická sústava a ľavú časť Česká tabuľa a České stredohorie. Oblasť záujmu sa nachádza práve na území Českej

tabule (obr. 4). Plochý povrch je čiastočne tvorený štruktúrnymi plošinami a z časti zarovnanými povrchmi. Na území Českej tabule sa miestami objavujú jednotlivé pozostatky vulkanickej činnosti a skalné mestá. Najvyšším bodom je Ralsko s výškou 696 *m n. m.* [10]



Obrázok 4 : Hranice geomorfologických jednotiek Libereckého kraja [6]

Výrazné rysy Českej tabule sú mocné uloženiny morských, taktiež nazývaných kvádrových pieskovcov, v ktorých erózia miestami vytvorila charakteristické skalné mestá. Niektoré pieskovce sa ťažia ako surovina na výrobu skla alebo ako stavebný materiál a sladkovodné ílovce sú hľadanou žiaruvzdornou surovinou. Pieskovce kriedovej panve sú najväčšou zásobárňou pitnej vody v Českom masíve. [10; 15]

2.3 Geomorfológia záujmového územia

Záujmové územie sa nachádza východne od obce Svojkov, ktorá leží v okrese Česká Lípa. Obec Svojkov sa nachádza 362 *m n. m.* Nad obcou sa týči masív pieskových Svojkovských skál. V krajine dominujú dva vrcholy, ktoré sa nachádzajú severne od Svojkova, Tisový vrch 540 *m n. m.* a Slavíček 535 *m n. m.* V okolí záujmového územia je mierne svahovaný terén. Cestná komunikácia je vybudovaná v miernom svahu, ktorý klesá smerom na juh. Severne od cestnej komunikácie sa nachádza stúpajúci svah so sklonom 11°, na ktorom sa rozprestiera ovocný sad (na obr. 5 vpravo).

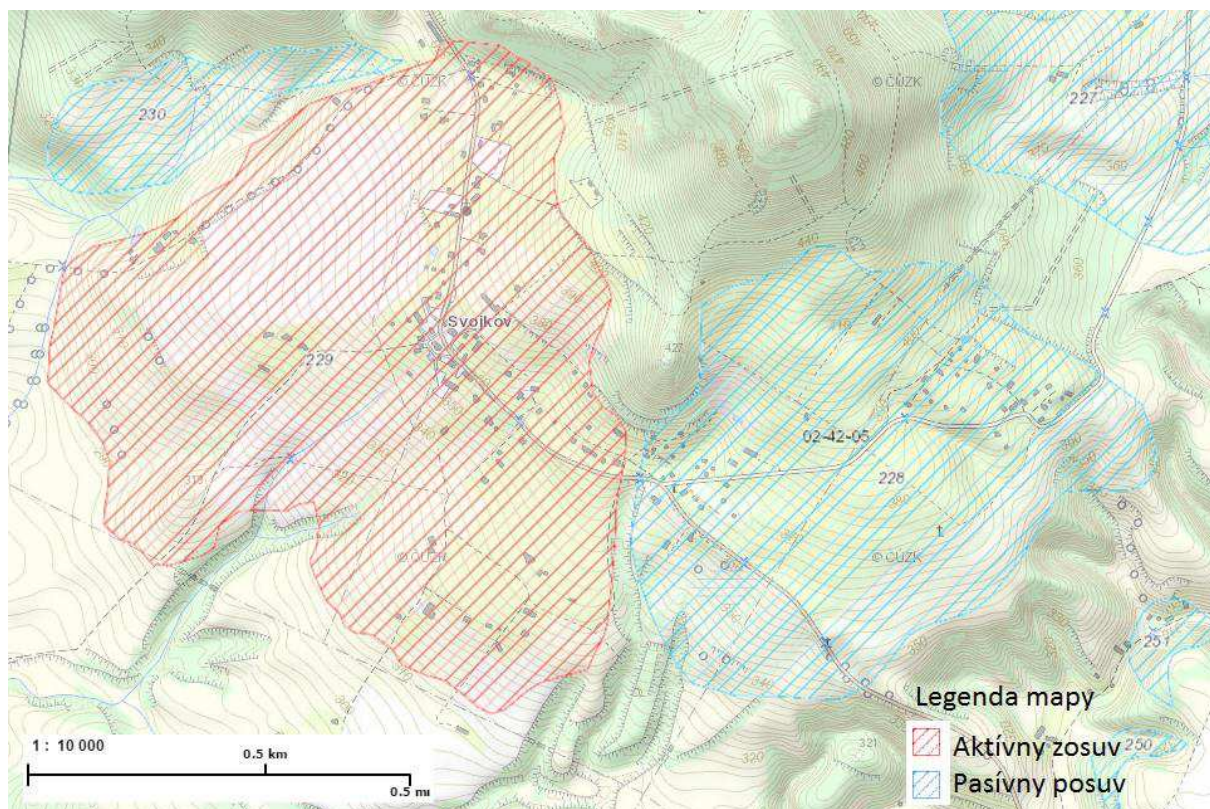


Obrázok 5 : Pohľad na cestnú komunikáciu II/268 [8]

Z obrázka je na prvý pohľad jasné, že svah na pravej strane od vozovky je mierne strmší, nachádza sa tu väčšie množstvo stromov ktoré majú aj napriek zlému podložiu pozitívny vplyv na stabilitu svahu nad cestnou komunikáciou. Fotografia pochádza z roku 2011 a už v tejto dobe je viditeľná zla únosnosť podložia na tvare stĺpikov a rastu stromov na sade, ktorý sa nachádza nad komunikáciou. Na ľavej strane komunikácie sa nachádza lúka, keďže je na nej vyšší porast nie je dobre vidno sklon svahu pod cestnou komunikáciou.

2.4 Svahová nestabilita

Svahové pohyby veľmi často súvisia s presýtením svahového telesa vodou. Táto situácia nastáva po veľkých dažďoch a pohyb svahu nastáva vtedy keď aktívne sily prekonajú pasívne zložky odporu. [17]



Obrázok 6: Svahová nestabilita Libereckého kraja [2]

Z mapy svahových nestabilít na území Libereckého kraja (obr. 6) vyplýva, že obec Svojkov sa nachádza v aktívnom zosuve. (na mape územie červenej farby)

Zaujímavé územie, ktoré sa nachádza východne od obce Svojkov leží v území zosuvu v štádiu ukl'udnenom (na mape územie modrej farby).

2.5 Geológia

Na území okresu Česká Lípa je dominantná geologická jednotka tvorená Českou kriedovou panvou. V menšej miere sa prevažne v severozápadnej časti skúmanej oblasti objavujú terciárne vulkanity a pyroklastika. Geologický najmladšou jednotkou sú kvartérne porokvy eolík, fluvialných, diluvialných či organogénnych sedimentov. Geologická stavba je komplikovaná tektonikou, hlavne hustou sieťou zlomov. [15]

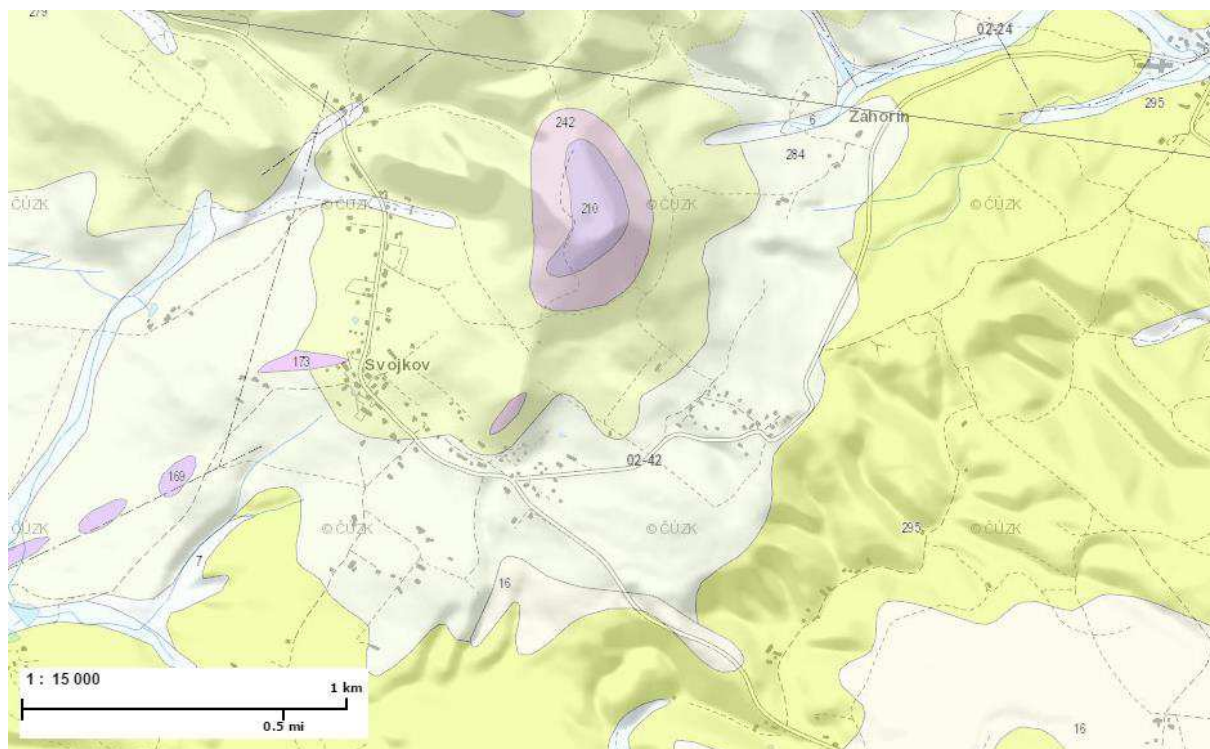
Krieda: Povrch okresu Česká Lípa je z veľkej časti tvorený vrchnokriedovými sedimentami facialnej lužickej oblasti českej kriedovej panvy v stratigrafickom rozsahu vrchnej turon až coniak. Plošne najrozsiahlejšie sú komplexy sedimentov, priradené k březenskému, teplickému a hlavne k jizerskému súvrstviu. Z petrologického hľadiska prevažujú kremene pieskovca a v menšej miere aj pieskovce ílovité, slinité a vápnité. Pre hrubozrnnejšie pieskovce jizerského súvrstvia sú charakteristické aj železité inkrustácie, ktoré boli v minulosti aj predmetom ťažobného priemyslu (napríklad Schachtstein u Hamru na Jazere). V páse vedúcom od Stružnice cez Českú Lípu až k Mimoni sa vo veľkom počte objavujú vápnité ílovce a slínovce [15; 18]

Terciér: Na severozápade skúmanej oblasti sa pomerne často objavujú neovulkanity Českého stredohoria. Stopy po vulkanickej činnosti sú v podobe jednotlivých vyhaslých sopiek viditeľné v ploche celého územia. Početné sú predovšetkým rôzne typy bazaltov odprevádzané pyroklastikami a subvulkanickými brekciami, menšie zastupiteľstvo sprevádzajú vypreparované telesá fonolitov. Neovulkanity sú zdrojom kvalitnej stavebnej suroviny. [15; 18]



Kvartérny pokryv: V zrovnaní s podložími geologickými jednotkami sa jedná o relatívne málo mocné uloženiny eolického, fluvialneho, diluvialneho a iného pôvodu. Sedimenty sú holocenného a pleistocenného veku. [15; 18]

2.6 Geologická mapa záujmového územia

Podľa geologickej mapy v merítku 1: 50 000 Česká Lípa (ČGÚ 1993) (obr. 7) je lokalita tvorená skalným podložíom charakteru ílovcov vápnných, slínovcov a pieskovcov vápnných kriedového veku. Jedná sa o teplické súvrstvie. Na sever od lokality sa nachádzajú tret'ohorné čadiče. Zvetralinový pokryv je ílovitého charakteru.



Obrázok 7 : Geologická mapa Svojkov a okolie [2]

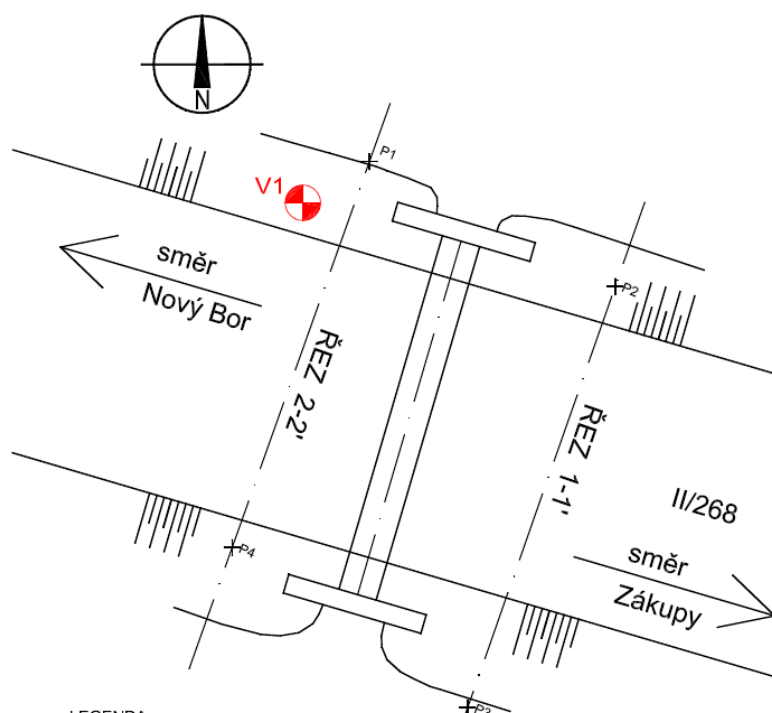
| Číslo | Farba | Hornina | Región |
|-------|---|---|--|
| 210 |  | bazalt alkalický, tefrit, augitit | podkrušnohorské panve a priľahlé vulkanické hornatiny, |
| 242 |  | brekcie subvulkanická bazaltoidní | podkrušnohorské panve a priľahlé vulkanické hornatiny, |
| 279 |  | pieskovec kremenný, štrčíkovitý | česká kriedová panva |
| 284 |  | ílovec vápnný, slínovec, pieskovec vápnný | česká kriedová panva |
| 295 |  | pieskovec kremenný, štrčíkovitý | česká kriedová panva |

Tabuľka 1 : Legenda geologickej mapy Svojkov a okolie [2]

2.7 Geológia v oblasti stavby

Vstupné údaje o geológii daného územia pre zostavenie geologického profilu v oblasti stavby boli určené na základe inžinierskogeologického prieskumu (11/2014 a 2/2015). V rámci prieskumu bola prevedená jedna vrtaná sonda. Tento vrt bol spravený v oblasti cestnej komunikácie na nespevnej krajnici vozovky, v čase po deformácii cestného telesa. Vrtaná sonda bola vrtaná do hĺbky 4,5 metra v blízkosti havarovaného priepustku (obr. 8). Bola použitá ľahká vrtná súprava so špirálovitým vrtákom o priemere 156 milimetrov. V priebehu vrtania bol prevádzaný detailný inžinierskogeologický popis zastihnutých vrstiev (tab. 2) a fotodokumentácia (obr. 9 a 10). [19]






V rámci vyhodnotenia boli použité výsledky penetračných skúšok urobených v Novembri 2014, kedy boli prevedené štyri dynamicko-penetračné skúšky do hĺbky 4 metre. Bola použitá penetrácia typu DPM (Dynamická penetračná metóda), použitý trň mal priemer 32 milimetrov s hrotom, ktorý mal vrcholový uhol 90° a hmotnosťou barana 30 kilogramov. Výška pádu bola 50 centimetrov. Situácia snovacích prác je znázornená v tabuľke č.2. [19]



Obrázok 8 : Situácia prevedených IG prác (V1: vrtaná sonda, P1 – P4: penetrácia) [19]

Dynamická penetračná skúška je terénna skúšobná metóda, pri ktorej sa rýchlo a nedeštruktívne preskúma podložie. Podstata spočíva v zarážaní penetračných tyčí do zeminy pomocou energie vyvolanej pádom barana. Z výsledkov penetračnej skúšky je možné určiť rozhrania geologických vrstiev s výrazne rozdielnymi pevnostnými a deformačnými charakteristikami, homogenity násypových telies, hĺbky zóny zvetrania, polohy šmykovej plochy zosuvu, fyzikálno-mechanické vlastnosti zemín určených na základe semiempirických vzorcov polohy a hĺbky neúnosných alebo únosných zemín, kontrola zhutnenia zemín a sypanín. [3]

Narazená a hladina podzemnej vody bola zistená v hĺbke 0,9 metra. Ustálená hladina podzemnej vody bola nameraná po 24 hodinách v tej istej hĺbke. [19]

| Hĺbka/(mocnosť) | Legenda | Geologický popis hornín a zemín | ČSN 736133 | EN 14668 |
|-----------------|---|--|---------------|-------------|
| 0,50/(0,50) |  | Navážka - kamene čadičové, veľkosti 5-15 cm - konštrukcia vozovky, obtiažne vrtateľné, na báze štrk s pieskom | Y - Cb | Co |
| 1,40 /(0,90) |  | Svetle hnedý PIESOK silne hlinitý až HLÍNA piesčitá, konzistencia mäkká | S4(SM) | siSa |
| 2,70/(1,30) |  | Zelenomodrý smouhatý okrový ÍL, konzistencia tuhá až pevná, marená hodnota UCS pomocí vreckového penetrometru: UCS= 75 kPa | F6-F8 | Cl |
| 3,70/(1,00) |  | Zelenomodrá smouhatý ÍL, konzistencia pevná | F6-F8 | Cl |
| 4,50/(0,80) |  | Elúvium skalného podložia charakteru ÍLU, konzistencia, mäkká až tuhá s úlomkami ílovcov veľkosti 5 mm, vrstva je zvodnelá, pravdepodobne je skalní podklad blízko | R5-R6 | grCl |

Tabuľka 2: Geologická dokumentácia sondy [19]

2.8 Fotografická dokumentácia sondy



Obrázok 9 : Metráž vrtu V1, 0-3m. [19]



Obrázok 10: Metráž vrtu V1, 3-4,5m. [19]

2.9 Hydrogeológia

Oblasť okresu Česká Lípa sa skladá z podstatnej časti povodia Ploučnice s hlavnými prítokmi Svitávkou, Panenským potokom a Robečským potokom. Malá časť územia pri východnej a juhovýchodnej hranici patrí povodiu Zábrdky a Bělé. Do malej časti okresu Česká Lípa zasahuje aj na juhozápade povodie Obrtky a juhu povodia Liběchovy a Pšovky. Tieto rieky sú pravostranné prítoky Labe. [6]

Cez obec Svojkov nepreteká žiadna významná ani veľká rieka ale juhozápadne od obce sa nachádzajú vyvreté ramená malého potoka, ktoré sa nazývajú Studené prameny. Najbližšie povodie v okolí Svojkova, Dobranovský potok preteká cez susednú obec Bukovany. V okolí obce sa nachádza veľký počet rybníkov a umelo vytvorených jazier. V obci sa nachádza rybník o rozlohe desiatok metrov štvorcových, voda z neho odteká na juh kde sa nachádza miestna kuriozita, Svojkovský vodopád.

Hladina podzemnej vody v okolí stavby je pomerne vysoká predovšetkým z dôvodu toho, že hladina podzemnej vody a voda, ktorá pochádza z dažďov nemôže vsiaknuť do podlažia. Podlažie sa skladá zo zeminy zelenomodrý smouhatý okrový íl a to znamená, že podlažie je nepriepustné. [19]



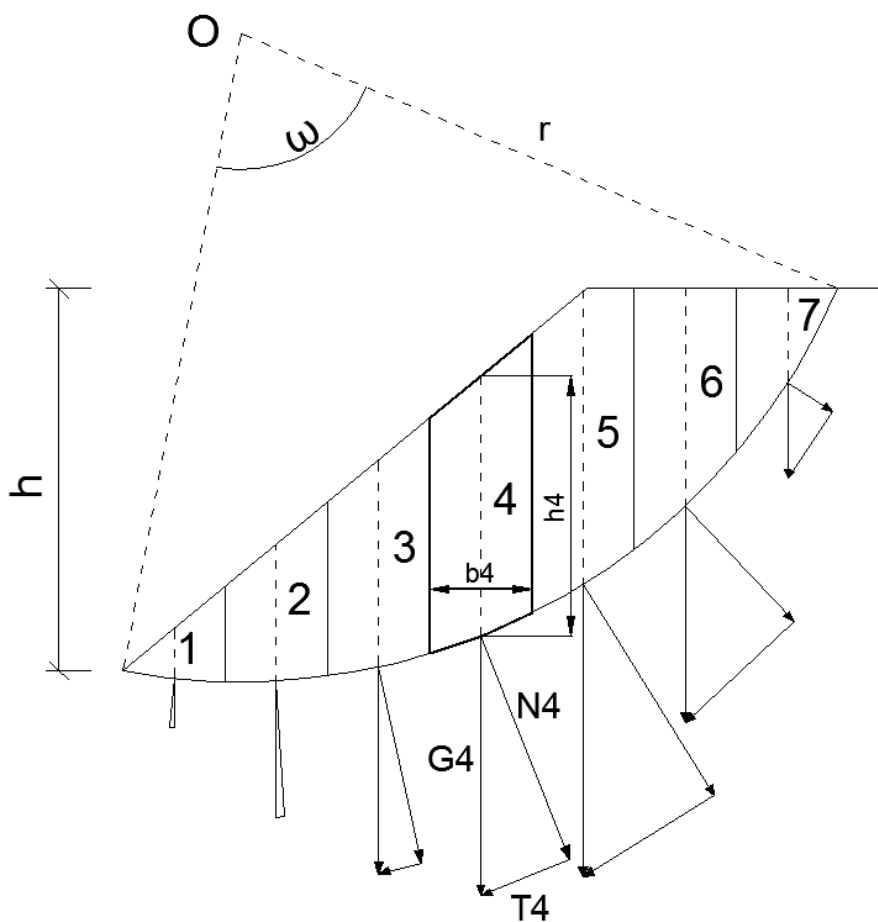
Obrázok 11: Mapa zobrazujúca podmočené územie [2]

V oblasti záujmového územia pod násypom cestnej komunikácie sa nachádza podmočené územie, zobrazené na mape (obr. 11).

3 Výpočtové metódy a modely

3.1 Pettersonova metóda

Pettersonova metóda taktiež nazývaná prúžková metóda (často tiež ako silová metóda alebo metóda medznej rovnováhy). Je vhodná pre vrstevnatý svah a podložie, ktoré je tvorené súdržnými zeminami. Metóda predpokladá, že sily, ktoré pôsobia na steny prúžkov, sa vzájomne vyrušia, preto sa neuvažujú sily od susedných prúžkov zeminy. [16]



Obrázok 12: Pettersonova metóda - rozloženie prúžkov [11]

Úlohu riešime ako rovinnú na jeden meter dĺžky svahu. V zvislom reze telesom svahu vedenom spádnicou svahu sa predpokladaná šmyková plocha znázorní kružnicou a jej plošne vymedzená časť rezu sa rozdelí na zvislé prúžky (obr. 12). Doporučuje sa v rozsahu 5 – 15 prúžkov. Dôležité je, aby prúžky mali rovnakú šírku. Pri výpočte sa vždy najskôr určí tiaž daného prúžka, ktorá pôsobí vždy v ťažisku. Vyšetria sa sily na príslušnom úseku šmykovej

plochy a určí sa výsledný moment pasívnych a aktívnych síl ku stredú otáčania. Tato metóda vychádza z predpokladu valcovej šmykovej plochy. Z ťažiska sa na šmykovej ploche rozdelí na normálovú a tangenciálnu silu. Pasívne sily, ktoré zabraňujú ušmyknutie, reprezentujú trenie a súdržnosť. Stupeň stability i -tého prúžku je pomer momentov medzi pasívnymi a aktívnymi silami, ktorý pôsobí ku stredú šmykovej plochy. Keďže všetky sily pôsobia na rovnakom ramene, tento rozmer sa vykrátí. Stupeň stability je teda daný sumou všetkých aktívnych a pasívnych síl jednotlivých prúžkov. [16]

$$FS = \frac{\sum_i [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \tan \varphi_i]}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

| | | |
|------------------|---|--|
| u_i | – | pórový tlak na prúžku |
| c_i, φ_i | – | efektívne hodnoty šmykových parametrov zemín |
| W_i | – | tiaž prúžku |
| N_i | – | normálová sila na úseku smykovej plochy |
| α_i | – | sklon úseku šmykovej plochy |
| l_i | – | dĺžka úseku šmykovej plochy |

3.2 Bishopová metóda

Tak ako pri Pettersonovej metóde sa jedna o metódu medznej rovnováhy. Tieto dve metódy sú veľmi podobné. Bishopová metóda je oproti Pettersonovej metóde zdokonalená, pretože zavádza do výpočtu aj vodorovné účinky susedných prúžkov a neutrálne napätie na šmykovej ploche. Aj u tejto metódy sa v telese svahu obmedzenom zvolenou valcovou šmykovou plochou vydolí pás jednotkovej šírky, ktorý sa ďalej rozdelí na zvislé prúžky o rovnakých šírkach. [16]

Princíp metódy spočíva v stanovení totálneho zaťaženia na šmykovej ploche a potom v jeho rozložení na zložku efektívnu a neutrálnu (pórový tlak). Pre výpočet bola použitá zjednodušená Bishopová metóda. [16]

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{FS}}$$

| | | |
|------------------|---|--|
| b_i | – | šírka prúžku |
| u_i | – | pórový tlak na prúžku |
| c_i, φ_i | – | efektívne hodnoty šmykových parametrov zemín |
| W_i | – | tiaž prúžku |
| N_i | – | normálová sila na úseku smykovej plochy |
| α_i | – | sklon úseku šmykovej plochy |
| l_i | – | dĺžka úseku šmykovej plochy |

3.3 Popis programu GEO5

Programový software GEO5 je súborom samostatných programov, ktorý poskytuje riešenie pre väčšinu geotechnických úloh. Programy majú rovnaké užívateľské rozhranie a vzájomne spolu komunikujú. Každý program komplexne posudzuje určitý typ konštrukcie. [4]

Program stabilita svahu: Základným programom pre výpočet stabilitných problémov je modul Stabilita svahu. Program je určený k výpočtu stability svahu obecné vrstevnatého zemného násypu telesa pomocou metódy medznej rovnováhy. Šmyková plocha môže byť kruhová (Bishopová, Pettersonova, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price) alebo polygonálna (Sarma, Spencer, Janbu, Morgenstern-Price metóda). Spolupracuje so všetkými programami na výpočet pažených konštrukcií a operných stien. Umožňuje zavedenie kotiev, geovýstuh, prítiaženie a modelovanie účinkov zemetrasenia. [4; 5]

V programe stabilita svahu v položke „Nastavenie“ je na výber zo základných nastavení programu ako normy teória výpočtu, spôsob preukázania bezpečnosti konštrukcie a jednotlivé súčinitele výpočtu. V programe bola použitá Česká technická norma (ČSN), posúdenie bolo prevedené podľa stupňov bezpečnosti. [4]

Ďalej je možné nemodelovať akýkoľvek komplikovaný alebo jednoduchý stav a to v záložke „Rozhranie“. [5]

V možnosti „Zeminy“ sa zadávajú základné parametre vlastností zeminy ako objemová tiaž, uhol vnútorného trenia a súdržnosť zeminy. Tieto hodnoty sa zisťujú z geotechnického, inžiniersko-geologického prieskumu alebo z laboratórnych skúšok. Ak nie sú k dispozícii tieto podklady, je možné využiť zabudovanú databázu zemín, ktorá obsahuje orientačné hodnoty vybraných základných charakteristík zemín. Spôsob výpočtu stability svahu sa líšia pre odvodnené a neodvodnené podmienky. Pre odvodnené podmienky sa zadávajú parametre zeminy v efektívnej napätosti a pre neodvodnené parametre sa používa totálna napätosť. [5]

Následne priradenie zemín do rôznych rozhraní sa nachádza v dialógovom okne „Priradenie“. Zoznam zemín je graficky znázornený pomocou tlačidiel v lište nad tabuľkou, alebo je prístupný z rozbaliteľného zoznamu u každej vrstvy profilu. [5]

Možnosť „Výstuhy“ obsahuje tabuľku so zoznamom zadaných výstuh. Výstuhy sa dajú zadať dvoma spôsobmi. Prvý spôsob pridanie výstuhy je graficky a druhý textovo, kedy je potreba poznať presné súradnice. Pri vkladaní výstuh zadávame parametre umiestnenie výstuhy, kotevná dĺžka, návrhová pevnosť výstuhy a uloženie výstuhy pevne alebo voľne. [5]

Dialógové okno „Pritáženie“ obsahuje tabuľku, kde sa nachádzajú súradnice umiestnenia, veľkosť a šírku zaťaženia. Pritáženie je možno zadať ako stále premenlivé alebo mimoriadne. V modeli bolo použité premenlivé zaťaženie od cestnej premávky na konštrukciu cestného telesa. [5]

V položke „Voda“ sa nastavuje typ hladiny podzemnej vody. V rozbaľovanom zozname je možnosť výberu jednu zo šiestich variant uvažovania podzemnej vody. Zadávanie hladiny vody respektíve izolinií je úplne zhodné so štandardným zadávaním rozhrania. [5]

Ponuka „Výpočet“ zobrazuje výsledky, ktoré ponúkajú pre jednu zadanú úlohu previesť viac výpočtov. Základnou voľbou pri výpočte stability svahu je typ šmykovej plochy. Obsahuje dve voľby, kruhovú šmykovú plochu a polygonálnu šmykovú plochu. Po zadaní šmykovej plochy je zvolená metóda výpočtu, kde je možné zvoliť jednu metódu (Bishop, Petterson, Spencer, Jambu, Morgenstern-Price alebo všetky metódy súčasne. [5]

Program vystužené násypy: Pre výpočet nových násypov vystužených geovýstuhami je určený program vystužené násypy, ktorý obsahuje rozsiahlu databázu geovýstuh rozličných výrobcov. Z programu vystužené zeminy sa pri výsledku „stabilita“ presunie namodelovaná situácia do programu stabilita svahu.[5]

Možnosť „Nastavenie“ slúži k zadaniu normy, teória výpočtu, spôsob preukázania bezpečnosti konštrukcie a jednotlivé súčinitele výpočtu. V programe bola použitá Česká technická norma (ČSN). [5]

Tvar násypu alebo steny edituje buď vložením hodnôt do zadávacích polí, alebo na desktopu pomocou aktívnych kót v položke „Geometria“. Zvolený typ geometrie ovplyvňuje vzhľad ďalších možností a ich zadávanie (voda, pritáženie, vystuženie). [13]

V ďalšom dialógovom okne „Typy výstuh“ je zoznam zadaných geovýstuh a ich charakteristík (dlhodobá pevnosť výstuhy a koeficienty spolupôsobenia). Po zadání parametrov nasleduje namodelovanie výstuh v okne „Vystuženie“ kde sa zobrazuje tabuľka so zoznamom výstuh a jej geometrií. [5]

Možnosti „Profil“, „Zeminy“ a „Priradenie“ sú založené na rovnakom princípe ako v programe stabilita svahu. Profil obsahuje tabuľku so zoznamom zadaných rozhraní. Po zadaní rozhrania sa dajú na desktopu editovať mocnosti jednotlivých vrstiev pomocou aktívnych kót. Zeminy obsahujú zatriedenie zemín, kedy zadávame jednotlivé parametre ručne alebo pomocou zatriedenia zemín a možnosť priradenie určuje, v ktorej vrstve sa nachádza daná zemina. [5]

Vyhodnotenie výsledkov v programe vystužené násypy je rozšírená oproti programu stabilita svahu o posúdenie, posúdenie na únosnosť, posunutie po výstuži, vnútorná stabilita a globálna stabilita. [5]

3.4 Výstupy vypočítaných modelov

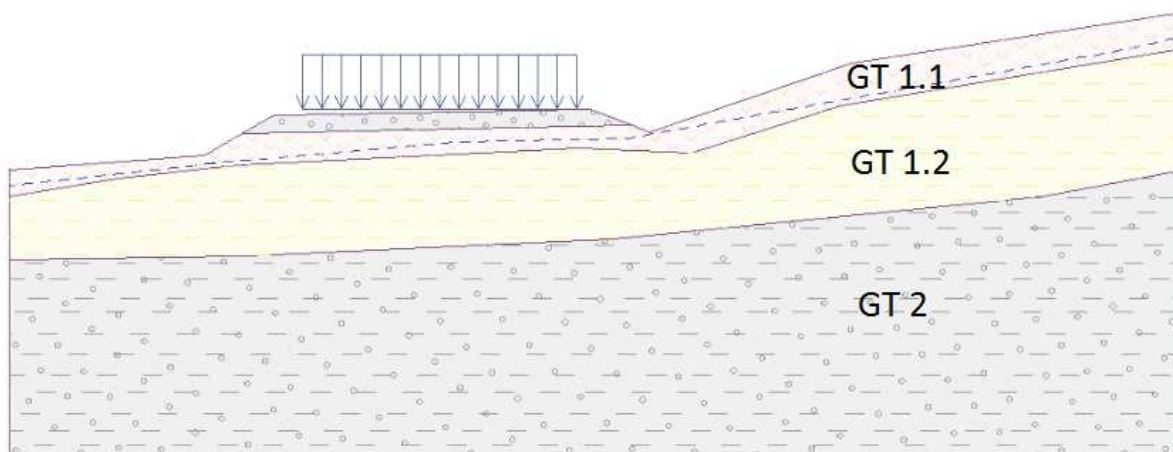
Základné zeminy pre jednotlivé modely sú rozdelené do troch geotechnických typov zemín GT 1.1, GT 1.2 a GT 2 (obr. 13). Zeminy boli zatriedené podľa normy ČSN 736133 „Návrh a prevádzka zemného telesa pozemných komunikácií“. Zatriedenie zastihnutých vrstiev bolo tiež zatriedené podľa platnej normy ČSN EN ISO 14688 – 1 „Geotechnický prieskum a skúšanie“ [19]

Najvrchnejšia vrstva profilu je tvorená konštrukciou vozovky (navážka) charakteru čadičových kameňov veľkosti 5 až 15 *cm*. Jedná sa o vrstvu mocnosti 0,5 *m*. Pod touto konštrukčnou vrstvou sa nachádza vrstva GT 1.1, ktorá je tvorená hlinitým pieskom až hlinou piesčitou. Jedná sa pravdepodobne o pôvodný terén ale môže sa jednať aj o navážku z miestneho materiálu pri konštrukcii vozovky. V tejto vrstve bola narazená aj nástupná hladina podzemnej vody vo vrte (1,1 *m* pod terénom). Z tejto vrstvy dochádza k dlhodobému vyplavovaniu jemného materiálu vplyvom vysokej hladiny podzemnej vody a vplyvom nefunkčnosti príľahlého priepustku a následnému obtekaniu. Voda pretekajúca okolo telesa nie je iba voda z priekopu pozdĺžne komunikáciou, ale je to hlavne voda z príľahlých sádov, kde prakticky žiadna voda vplyvom nepriepustného podložia nevsakuje. Táto vrstva bola zastihnutá vo vrte mocnosti 0,9 *m*. [19]

Vrstvu GT 1.2 tvorí na lokalite JÍL, ktorý ide zatriediť ako F6 –F8 a ktorý má vo vrchnej časti konzistenciu tuhú až pevnú a v spodnej časti konzistenciu pevnú. [19]

Geotechnický typ GT 2 je podľa zastihnutej časti vo vrte V1 a podľa záznamu z penetrácie tvorený elúvium skalného podložia. Jedná sa o rozloženie vápnitého ílovca a slínovca charakteru ÍLU s úlomkami ílovcov veľkosti do 5 *mm*. Konzistencia je mäkká, horizont je zavodnený. Parametre zemín v tabuľke č. 3 - 5 boli zistené v čase, kedy došlo k nehode priepustku a poklesu cestného násypu. [19]

0,00 1,00 2,00 3,00 4,00 5,00 6,00 7,00 8,00 9,00 10,00 11,00 12,00 13,00 14,00 15,00 16,00 17,00 18,00 19,00 20,00 21,00 22,00 23,00 24,00 25,00 26,00 27,00 28,00 29,00 30,00



Obrázok 13: Priečný rez, zeminy GT [4]

| Značka | Hodnota | Jednotka |
|--|---------|----------|
| γ | 18 | kN/m^3 |
| γ_{sat} | 21 | kN/m^3 |
| c_{ef} | 0 | kPa |
| φ_{ef} | 29 | ° |
| S4/SM Piesok hlinitý až hlina piesčitá, konzistencia mäkká | | |

Tabuľka 3: Parametre vrstvy GT 1.1 [19]

| Značka | Hodnota | Jednotka |
|---------------------------------------|---------|----------|
| γ | 21 | kN/m^3 |
| γ_{sat} | 22 | kN/m^3 |
| c_u | 0 | kPa |
| φ_u | 50 | ° |
| F6 - F8 Íl konzistencia tuhá až pevná | | |

Tabuľka 4: Parametre vrstvy GT 1.2 [19]

| Značka | Hodnota | Jednotka |
|---|---------|----------|
| γ | 21 | kN/m^3 |
| γ_{sat} | 23 | kN/m^3 |
| c_u | 40 | kPa |
| φ_u | 0 | ° |
| R5 - R6 Elúvium na bázy ílovcov, charakter ílovec s úlomkami konzistencia mäkká | | |

Tabuľka 5: Parametre vrstvy GT 2 [19]

3.5 Modelová analýza stavu pred rekonštrukciou

Na základe výkresu priečneho rezu, ktorý bol vybraný z úseku 124 *m* ako reprezentatívny, bol spravený model v programe GEO5 v.18. Tento rez sa nachádza v tesnej blízkosti priepustku, kde došlo k poškodeniu cestnej komunikácie v najväčšom rozsahu. Parametre zemín sú uvedené v tabuľkách 3, 4, 5. Na profil pôsobí premenlivé zaťaženie o veľkosti 20 *kN/m* a predstavuje zaťaženie od premávky na cestnej komunikácii.

Programom GEO5 boli modelované dva prípady pred sanáciou:

- V prvom prípade / modeli je poloha HPV daná prieskumom (obr. 14).
- V druhom prípade / modeli bolo snahou posúdiť stav, kedy je svahové teleso úplne presýtené vodou v dôsledku nefunkčného odvodnenia (obr. 15).

poznámka: poloha podzemnej vody je stanovená po porušení cesty (2/2015), teda potom, ako došlo k zlyhaniu odvodnenia.

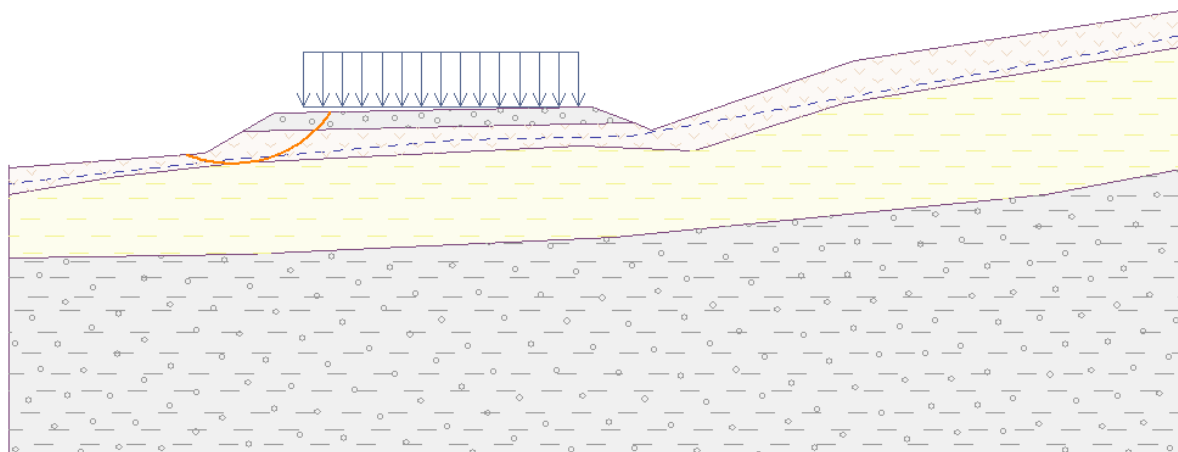
V prvej aj druhej modelovej analýze boli nepriepustné zeminy F6-F8 a R5-R6 riešené pomocou totálnych parametrov šmykovej pevnosti, priepustná zemina S4(SM) bola namodelovaná s efektívnymi parametrami zeminy.

V prvom modeli (pred zvýšením HPV) stupeň stability podľa Bishopa a Pettersona nepresahuje hodnotu 1,50 a stav nevyhovuje na stabilitu svahu.

0,00 1,00 2,00 3,00 4,00 5,00 6,00 7,00 8,00 9,00 10,00 11,00 12,00 13,00 14,00 15,00 16,00 17,00 18,00 19,00 20,00 21,00 22,00 23,00 24,00 25,00 26,00 27,00 28,00 29,00 30,00

$F = 1,44$ (Bishop)

$F = 1,27$ (Petterson)



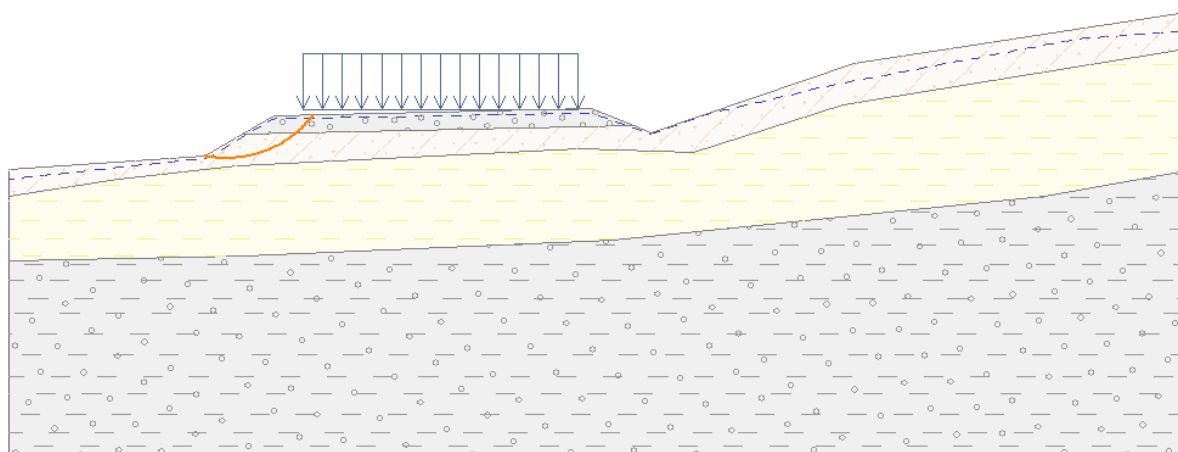
Obrázok 14: Pôvodný stav pred sanáciou, pred zvýšením hladiny podzemnej vody [4]

Druhá modelová analýza znázorňuje už stav, kedy dochádza k poruche odvodňovacieho priepustku cestnej komunikácie. Keďže odvodňovací systém nezvláda odvodňovať povrchovú vodu z príľahlého sadu, ktorý sa nachádza nad cestnou komunikáciou, voda sa drží v priekope a vsakuje do násypu cestnej komunikácie. Voda nemá možnosť sa vsiaknuť do nepriepustného ílovitého podložia. K podzemnej vode sa pridáva voda povrchová, následkom prúdenia vody dochádza k odvodňovaniu zeminy S4/SM, ku strate stability a k poruche cestného násypu.

0,00 1,00 2,00 3,00 4,00 5,00 6,00 7,00 8,00 9,00 10,00 11,00 12,00 13,00 14,00 15,00 16,00 17,00 18,00 19,00 20,00 21,00 22,00 23,00 24,00 25,00 26,00 27,00 28,00 29,00 30,00

$$F = 0,96 \text{ (Bishop)}$$

$$F = 0,9 \text{ (Petterson)}$$



Obrázok 15: Pôvodný stav pred sanáciou po zvýšení hladiny podzemnej vody [4]

Výsledky stability analýzy sú zhrnuté v tabuľke č. 6 pomocou hodnôt stupňa stability. Boli vybrané výstupy podľa metódy Bishopovej a Pettersonovej. Pettersonova metóda bola zohľadnená, pretože udáva najnižšiu hodnotu vo výsledkoch (táto metóda neberie do úvahy vplyv susedných prúžkov). V tomto prípade nastala situácia kedy ani jeden stav nevyhovuje.

| Stav | Metóda | Stupeň stability | Vyhovuje/ nevyhovuje |
|---|-----------|------------------|-------------------------|
| Pôvodný stav pred sanáciou | Bishop | $1,44 > 1,50$ | Nevyhovuje |
| | Petterson | $1,27 > 1,50$ | Nevyhovuje |
| Pôvodný stav pred sanáciou po zvýšení HPV | Bishop | $0,96 < 1,50$ | Nevyhovuje |
| | Petterson | $0,90 < 1,50$ | Nevyhovuje |

Tabuľka 6: Prehľad stupňov stability [4]

4 Sanacia svahového telesa dopravnej komunikácie

4.1 Technická správa geológa

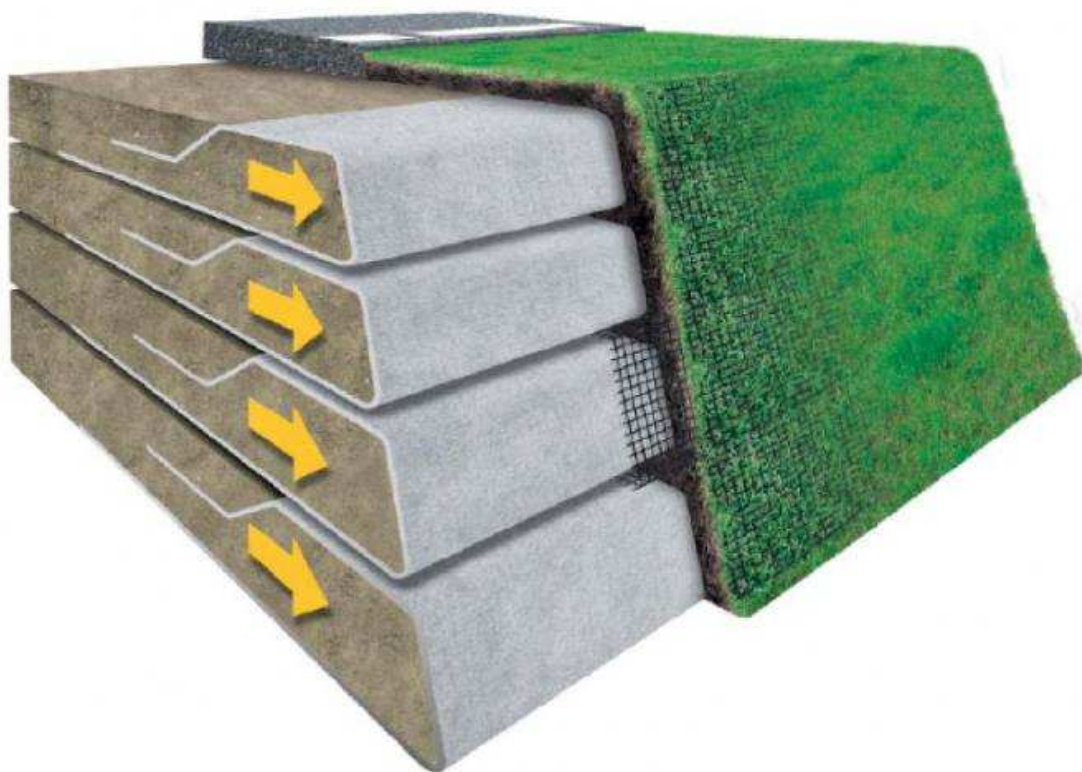
Z technickej správy geológa, ktorý robil prieskum na tomto území a to skúškou in-situ, vyplýva, že v rámci rekonštrukcie doporučuje odstrániť celú vrstvu popísanú ako GT 1.1 v rozsahu, v ktorom boli pozorované deformácie. Pretože cestný násyp treba zrekonštruovať, geológ odporúča priepustok a založenie nového cestného násypu založiť na vrchnej úrovni vrstvy tuhých ílov, tomu odpovedá vrstva GT 1.2. Do tejto vrstvy odporúča zatlačiť 100 mm mocnosti kameňov, ktoré majú frakciu 63/125 a zhutniť ju bez vibrácií. Na vrstvu z kameniva uložiť geotextíliu v šírke pod celým násypom z dôvodu zamedzenia pretlačovania podložnej vrstvy ílov do telesa násypu. Na túto geotextíliu bude nasypaná vrstva kameniva frakcie 63/125 vo výške minimálne 300 mm. Vzhľadom k tomu, že dochádzalo k zlému odplavovaniu vody, dokonca k obtekaniu priepustku, je nutné navrhnuť a vybudovať priepustok schopný odvodniť daný úsek. Pre lepšie prúdenie pozemnej vody do priepustku bude vytvorený širší odvodňovací priekop s dlaždicami v rozsahu celej šírky deformovanej časti cestnej komunikácie. Stekanie vody zo svahu nad komunikáciou, kde sa nachádzajú sady, musí byť systémovo odvodnené a spevnené. [19]

Na základe tohto geologického odporúčenia bol vyhotovený návrh a neskôr prevedenie súčasného stavu do podoby armovaného cestného násypu.

4.2 Armované svahy, technologia, typu požitých zemin, výšky vrstiev

Armované zeminy je technológia vystužovania svahov, násypov alebo plôch pomocou syntetických geomreží so stabilizačným lícovým prvkom. Prevedenia sú podľa geometrie s lícom kolmým alebo šikmým. [20]

Ak projektová dokumentácia nestanovuje inak, vystužené násypy do sklonu 45° sa budujú bez lícového opevnenia. Pri sklone svahu nad 45° musí byť líce opevnené podľa (TP97). Lícové opevnenie sa používa tuhé, poddajné alebo mäkké. V tomto prípade boli použité mäkké lícové prvky vo forme obalových čiel. Používajú sa lícové prvky tvorené oceľovou alebo polymérovou výstuhou, ktorá čelo obalí (obr. 17). Mäkký lícový prvok má vysokú stlačiteľnosť a nemá žiadnu ohybovú tuhosť. [7]



Obrázok 16: Armované zeminy – založenie líca svahu [7]

Vystužené prvky sa umiestňujú do vodorovnej polohy, líce svahu sa nimi obalí alebo sa ukončia pri čele svahu. Keďže povrch svahu vytvára vrstva humusu, ktorá sa môže zosunúť po svahu násypu, zabezpečuje sa líce svahu protieróznou ochranou. Najčastejšie používané protierózne opatrenia sú polymérové georohože, geokompozity, geobunky prípadne biodegradovateľné rohože na báze slamy, juty kokosových vlákien alebo iných prírodných materiálov. Vystužené násypy sa skladajú zo sypaniny, vystužené prvky a systém lícového opevnenia v prípade, že je potrebné. [20]

Vystužené prvky, ktoré sa nachádzajú v telese násypu pôsobia ako ťahová výstuž a zvyšujú aj zabezpečujú stabilitu násypu. Na kontakte zeminy s výstužou vznikajú šmykové napätia znižujúce aktívne sily spôsobujúce porušenie zemného telesa a zvyšujúce pasívne sily brániace porušeniu. Na kontakte zeminy s výstužou pri pohybe horniny po výstuži nastáva prenos síl v dôsledku trenia. Výstužná funkcia výstuhy sa začína uplatňovať v prípade, keď dochádza k pohybu zeminy po povrchu výstuže. Výstuž so sypaninou vytvára vystužený blok zeminy. Aby bol tento blok stabilný a preniesol všetky vonkajšie zaťaženia musí mať dostatočný tvar a šírku. Vodorovné výstužné prvky sa umiestňujú v základovej škáre násypu, v spodnej časti násypu a na svahoch násypu. Na vystužovanie násypov sa

zvyčajne používajú výstuže na bázy polyméru ako sú geomreže, geopásky, geotextílie a iné geokompozity. [20]



Obrázok 17: Svojkov – založenie geomreží [1]

Materiál do vystužených násypov: Zeminy vhodné do vystužených násypov sú prevažne hrubozrnné priepustné zeminy na bázy štrku a piesku (G, S), piesčité alebo štrkovité s jemnozrnnou prímiesou. Zeminy, ktoré sú menej vhodné je potrebné deklarovať skúškami a patria tam zeminy Jemnozrnné s prímiesou piesčitej alebo štrkovitej frakcie. [20]

Do vystužených násypov sa nemôžu používať zeminy s obsahom organických látok väčších ako 5% (humus, ornica, rašelina, bahno, uholné odpady) a zeminy s obsahom rozpustných a oxidujúcich látok negatívne pôsobiacich na vystužené prvky (alkalické prostredie nepriaznivo pôsobí na polyesterové materiály). [20]

Druhotné materiály ako popolček, popolčekový stabilizát, škvara, troska, stavebná suť, výsyvky, hlušiny, recyklované materiály z vozoviek sa môžu použiť do vystužených násypov v prípade, že mechanické vlastnosti výstužných prvkov nebudú ich pôsobením nepriaznivo znížené. [20]

Materiál geosyntetik: geosyntetika sa vyrábajú z termoplastických materiálov získaných destiláciou surovej ropy. Základné vlastnosti závisia na vnútornej štruktúre, chemických prísadách a doplnkoch. Geosyntetika sa najčastejšie vyrábajú z polyesteru, ktorý sa vyznačuje vysokou pevnosťou alebo z polyolefínu vyznačujúci sa vysokou odolnosťou proti organickým kyselinám. Polyvinylchlorid sa používa iba ako ochranný prvok proti mechanickému poškodeniu alebo zvýšeniu chemickej odolnosti. [7]

Napriek tomu, že životnosť geosyntetik pod zemou je prakticky neobmedzená, môžu za celú dobu realizácie podliehať jednotlivé polyméry degradácii dlhodobým účinkom svetla, poveternostným vplyvom, vody, chemiám, ktoré sa nachádzajú v prostredí a zaťažení. [7]

Hrúbka geosyntetik: Hrúbka geosyntetik pre separačné, filtračné a vystužné účely sa pohybuje v milimetroch a na protieróznú ochranu až niekoľko centimetrov. Pre plnenie drenážnej funkcie je potrebné definovať zmenu hrúbky ako funkciu zaťaženia. Najčastejšia používaná skúška sa prevádza zvislým napätím 2,2 a 200 *kPa*. [7]

Šmykový odpor geosyntetiky a zeminy: overenie šmykového odporu kontaktu geotextilie a zeminy je dôležité preto, aby pre geotextíliu nebolo vytvorené slabé podložie, pri ktorom môže dochádzať k ušmyknutiu. Dôležité pre overenie šmykového odporu je aj zistenie, či je smykový odpor schopný preniesť požadovanú ťahovú silu pri plnení výstužnej funkcie. [7]



Obrázok 18: Svojkov – založenie líca stavby [1]

Výšky vrstiev: Pri navážaní a zhutňovaní sypaniny sa zemina nasypáva a opatrne rozhrňuje na položenú výstuž. Aby technika mohla jazdiť po vrstve zeminy na výstuži, musí byť zaistená minimálna hrúbka zeminy 100 milimetrov, odporúčaná až 150 milimetrov. Násypový materiál musí byť hutnený po maximálnej hrúbke vrstvy 300 milimetrov do vzdialenosti 200 milimetrov od okraja líca. Okraj líca sa môže hutniť iba ľahkou technikou. [1]

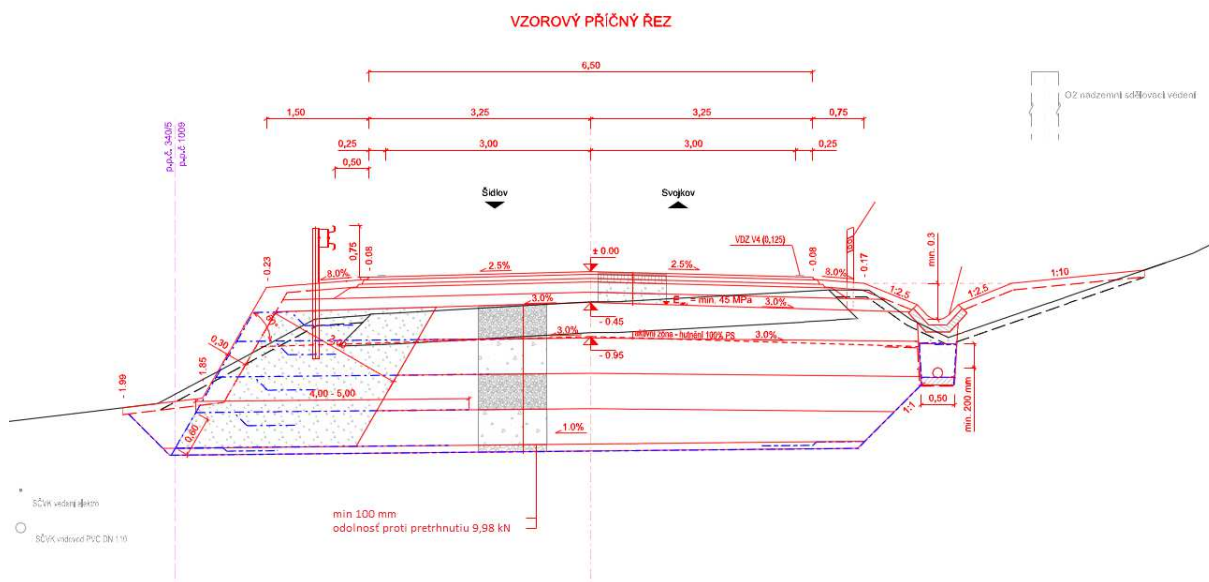
4.3 Založenie násypu a jeho skladba

Pred sanáciou násypu sa musí podložie násypu upraviť. Úprava najskôr zahŕňa odstránenie pôvodného násypu cestného telesa, stromov, krovín a materiálov, ktoré zasahujú do priestoru staveniska alebo môžu spôsobiť nepravidelné sadanie násypu. Založenie zemného telesa násypu musí zaistiť účinné spojenie násypu s podloží. Podložie sa dôkladne zhutní aby umožnilo dobrý pohyb stavebnej mechanizácie a stlačenie podložia ovplyvňuje celkové sadanie minimálnom rozsahu. Pri úprave podložia musí byť zaistené dobré odvodnenie a hlavne nemôže dôjsť k zavodneniu podložia násypu pri výmene zeminy. Pri úprave jemnozrnnej pevnej zeminy v podkladanej vrstve násypu sa doporučuje najskôr nakypriť, až potom naviesť hrubozrnnú zeminu. Ak je násypová zemina, ktorá sa používa do násypu a nesplňuje filtračné kritérium pre zabránenie vzájomného premiešania so zeminou v podloží, musí sa na podložie najskôr položiť separačná a filtračná vrstva. Filtračnú vrstvu môže tvoriť buď vhodná filtračná geotextília alebo zemina vhodnej zrnitosti. [12]

Založenie násypu bolo navrhnuté min. do hĺbky 100 mm v podobe štrkodrti frakcie 63/125. Aby bola dôkladne oddelená táto vrstva od podložia násypu bola použitá separačná geotextília s mechanickou odolnosťou proti pretrhnutiu 9,98 kN a pevnosťou minimálne 80 kN. Okraje geotextílie boli zabalené tak aby obalili vždy jednu vrstvu o mocnosti 0,52 metra. Geotextílie tu má plniť funkciu separačnú, filtračnú a čiastočne aj výstužnú, kedy bude schopná čiastočne zachytiť vznikajúce konsolidačné sily. Pre úplné zakreslenie geotextilií bol vytvorený výkres priečny rez (obr. 19). [1]

Svah násypu je navrhnutý strmší oproti pôvodnému stavu, a to v sklone 60°. Násypové teleso bolo navrhnuté ako sendvičové vystužené geomrežou. Tieto geomreže sú ukotvené do svahu podľa výšky. Kotvené dĺžky sú 4 metre vo výške svahu 0,6 – 1,5 metra a nad 2 metre je kotvená dĺžka až 5 metrov. Vrstvy sendvičového násypu tvorí štrkodrt' a zemina vhodná do násypu. Celková výška nového násypu je 2,63 metra. [1]

Do vystuženého telesa boli použité zeminy G2 – štrk zle zrnitý a G4 – štrk hlinitý. Prvá vrstva násypu tvorí zemina G4 – štrk hlinitý o mocnosti 0,52 metra. Táto zemina je zabalená do geomreže, na vrstvu je položená zemina G2 – štrk zle zrnitý, ktorá je taktiež zabalená do geomreže a tento postup sa opakuje ku konštrukčnej vrstve vozovky. Násyp je zhutnený maximálne po 300 milimetrových vrstvách.



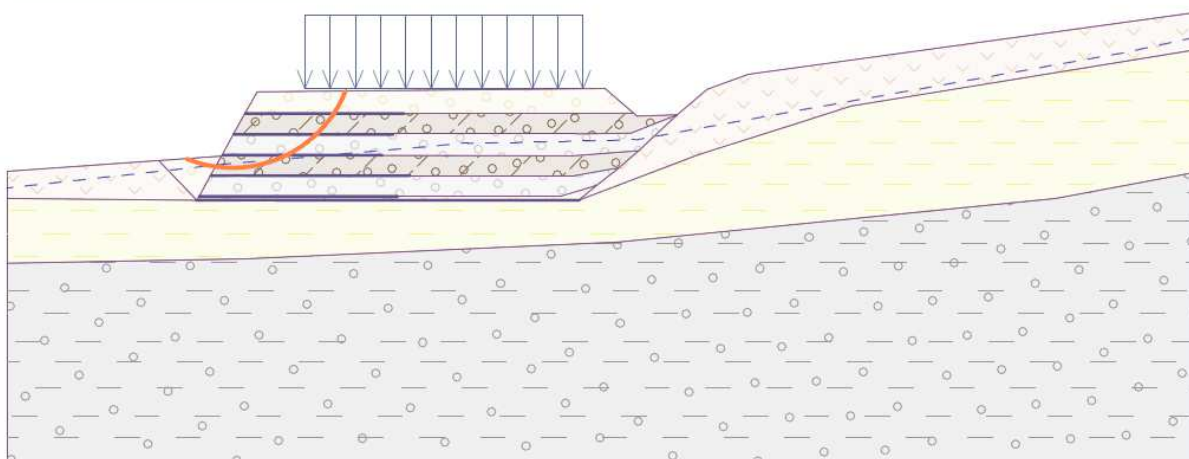
Obrázok 19: Výkres - priečný rez [1]

Na základe tohto výkresu bola namodelovaná situácia v programe GEO5, ktorý odpovedá skutočnému stavu cestnej komunikácie. Cieľom výpočtu v programe stabilita svahu bolo zistenie ako obstojí novo navrhnutý sanovaný stav. Výkres zobrazuje aj pôvodný stav cestného násypu, ktorý je zobrazený čiernou farbou. Rozdiel je najmä vo výške povrchu cestnej komunikácie a v sklone svahu násypu.

Pri modelovaní bol použitý program GEO5 - stabilita svahu ale taktiež program vystužené násypy. V programe stabilita svahu bola odstránená vrstva ílov pod násypom tak aby bolo možné založiť násyp na rovnom podloží. Zaťaženie na cestnej komunikácii v tomto modeli sa nemení od stavu pred sanáciou. Zaťaženie vyvolané od premávky na vozovke je teda 20 kN/m a je namodelované ako premenlivé. Výsledky namodelovaného stavu podľa Bishopa ($4,17 > 1,50$) a Pettersona ($5,00 > 1,50$) sú vyhovujúce.

$$F = 4,17 \text{ (Bishop)}$$

$$F = 5,0 \text{ (Petterson)}$$



Obrázok 20: Sanovaný stav - program stabilita svahu [4]

Sanovaný stav bol namodelovaný aj v programe vystužené násypy, ktorý posudzuje preklopenie, posunutie, únosnosť základovej pôdy, posunutie po výstuži, vnútorná stabilita a globálna stabilita. Pri počítaní stability program presunie namodelovaný stav z programu vystužené násypy do programu stabilita svahu. Keďže tento výstup neodpovedá podrobne tomuto stavu, bol v programe stabilita svahu namodelovaný dôkladnejší stav. Tento stav je znázornený na obrázku 20: Sanovaný stav – program stabilita svahu.

4.4 Odvodnenie násypu

Odvodňovanie komunikácií slúži k odvádzaniu prebytočného množstva povrchových a podzemných vôd. Odvádzanie povrchovej vody sa zaisťuje najmä úpravou priečneho a pozdĺžneho sklonu povrchu vozovky. Voda stekajúca po povrchu vozovky sa zachytáva v priekopách, ktoré sa nachádzajú pri pate násypu a odvádza sa do odvodňovacieho systému. Pred prítokom vody z vyšších polôh sa navrhujú na svahu nad komunikáciou záchytné priekopy a alebo drény. Pri sanácii odvodnenia komunikácie na stavbe bola použitá kombinácia priekopových dielcov s hĺbkovou drenážou osadenou pod priekopovými dielcami. [9]

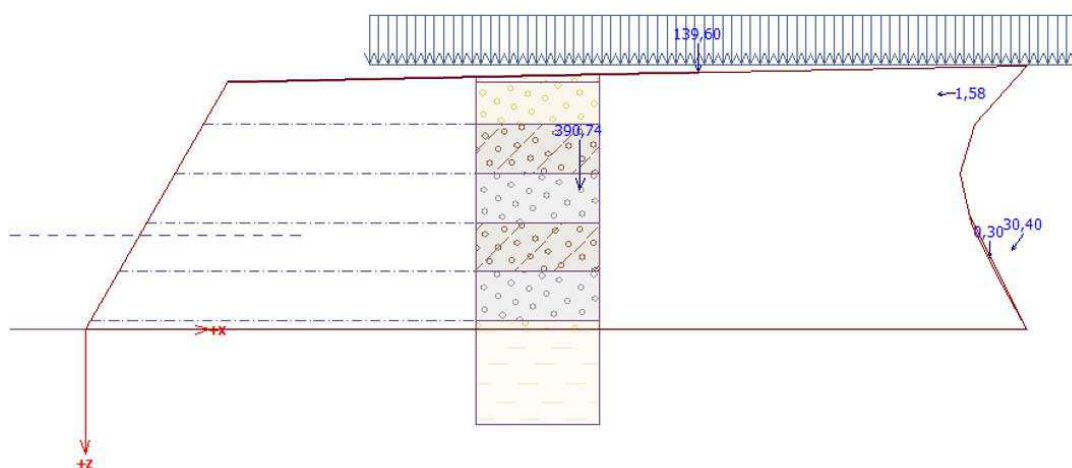
4.5 Posúdenie armovaného svahu programom GEO5 – vystužené násypy

Posúdenie každej vystuženej zemnej konštrukcie musí byť posúdené z hľadiska vnútornej a vonkajšej stability. Pri posúdení vnútornej stability vystuženého zemného telesa sa zisťuje bezpečnosť proti vytrhnutiu, vytiahnutiu výstuže zo zeminy, bezpečnosť zemného telesa proti pretrhnutiu výstuhy, bezpečnosti proti zosuvu klinu alebo časti vystuženého zemného telesa, stabilita lícového opevnenia. U vnútornej stability sa posudzuje bezpečnosť vystuženého zemného telesa proti zosuvu, zaborení ako celku a bezpečnosti zemného telesa proti posunutí po výstuži. [12]

U konštrukcií vyšších než 6 m sa posudzuje sadanie a vodorovná deformácia. U násypu na mäkkom, silne stlačiteľnom podloží sa sadanie a vodorovné deformácie posudzujú vždy bez ohľadu na výšku násypu. [12]

4.5.1 Posúdenie

Program vystužené násypy rieši situáciu tak, že neberie do úvahy namodelovanie situácie, kedy sú geotextilie pod úrovňou terénu. Preto nebola zemina pred pätou svahu zohľadnená v modely. Hladina podzemnej vody bola naznačená v úrovni tak ako v programe stabilita svahu s rozdielom toho, že program armované zeminy neberie do úvahy sklon hladiny podzemnej vody. Pre posudenie vonkajšej stability sa vytvorí fiktívna konštrukcia (stena), ktorá je potom ďalej posudzovaná na preklopenie a posunutie. Fiktívna stena je tvorená lícom konštrukcie a krivkou, ktorá ohraničuje koncové body geovýstuh. Fiktívna konštrukcia je zaťažovaná aktívnym zemným tlakom. Zataženie na povrch vozovky má hodnotu 20 kN/m (obr. 21).

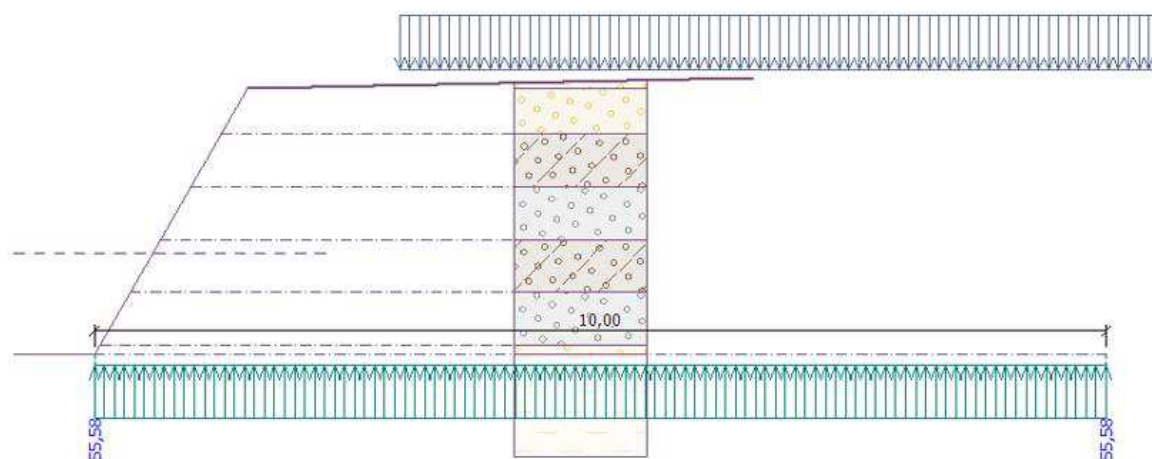


Obrázok 21: Posúdenie svahu vystužené násypy - preklopenie [4]

Výsledky tohto výstupu ukazujú, že svah je vyhovujúci pre preklopenie, pričom moment vzdorujúci $M_{\text{res}} = 2922,06 \text{ kN/m}$ a moment klopiaci $M_{\text{orv}} = 18,32 \text{ kN/m}$, z toho vyplýva, že posunutie vyhovuje na 0,6 %. Posunutie vyhovuje na 5,3 % a parametre odpovedajúce vodorovnej sile vzdorujúcej $H_{\text{res}} = 353.83 \text{ kN/m}$ a vodorovnej sile posunujúcej $H_{\text{act}} = 18,62 \text{ kN/m}$ o sebe vypovedajú, že tak ako v prípade preklopenia tak aj v prípade posunutia je svah značne predimenzovaný. [5]

4.5.2 Posúdenie na únosnosť

V Únosnosti sú zobrazené výsledky výpočtu únosnosti základovej pôdy. Napätie v základovej škáre (predpokladá sa konštantný) je vyjadrený zo všetkých síl, spočítaných v posúdení. Do únosnosti základovej pôdy sa zadávajú hodnoty ručne, podľa stanovených požiadaviek (alebo únosnosť počítaná v spolupráci s ďalším modulom GEO5, modulom Patky). Posúdenie na únosnosť ponúka dva parametre a to posúdenie excentricity a posúdenie únosnosti na základovej škáre. Posúdenie excentricity kedy maximálna excentricita normálovej sily $e = 0,000$ a maximálna dovolená excentricita $e_{alw} = 0,333$ vyhovuje na 0,000 %. Pri posúdení únosnosti na základovú škáru je maximálne napätie v základovej škáre $\sigma = 55,58 \text{ kPa}$ a únosnosť základovej pôdy $R_d = 80 \text{ kPa}$ (podľa normy ČSN 73 1001) stav vyhovujúci na 69,5 % (obr. 22) [5]

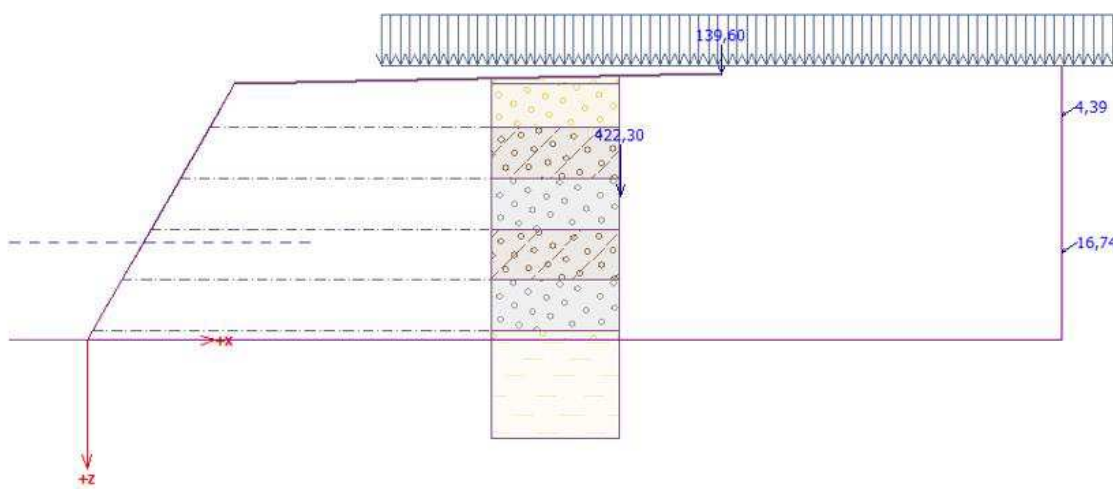


Obrázok 22: Posúdenie svahu vystužené násypy – únosnosť [4]

4.5.3 Posunutie po výstuži

Posunutie po výstuži posudzuje posunutie vystuženého bloku zeminy po geovýstuhe pomocou zadania výstuh. Zaškrknutím voľby automatické posúdenie sa posudzuje najkritickejšia výstuha. Vystužený blok zeminy je ohraničený lícom steny, posudzovanou geovýstuhou, zvislicou prechádzajúcou koncovým bodom geovýstuhy a terénom. Vystužený blok zeminy je zaťažovaný aktívnym zemným tlakom a stabilizujúcimi silami z geovýstuh zasahujúcich za hranice vystuženého bloku.

Posúdenie na posunutie po vystuži bere do úvahy najspodnejšiu výstuž, ktorá má sklon šmykovej plochy 90° , celkovú normálovú silu pôsobiacu na výstuhu $573,05 \text{ kN/m}$, súčiniteľ redukcie posunutia po geovýstuhe $0,60$, odpor steny $0,00 \text{ kN/m}$ a odpor na geovýstuhe $298,89 \text{ kN/m}$. Z tohto vyplýva, že posúdenie na posunutie má vodorovnú silu vzdorujúcu $H_{res} = 298,89 \text{ kN/m}$ a vodorovná sila posunujúca $H_{act} = 17,94 \text{ kN/m}$, takže posúdenie vyhovuje na $6,0 \%$. (obr. 23) [5]

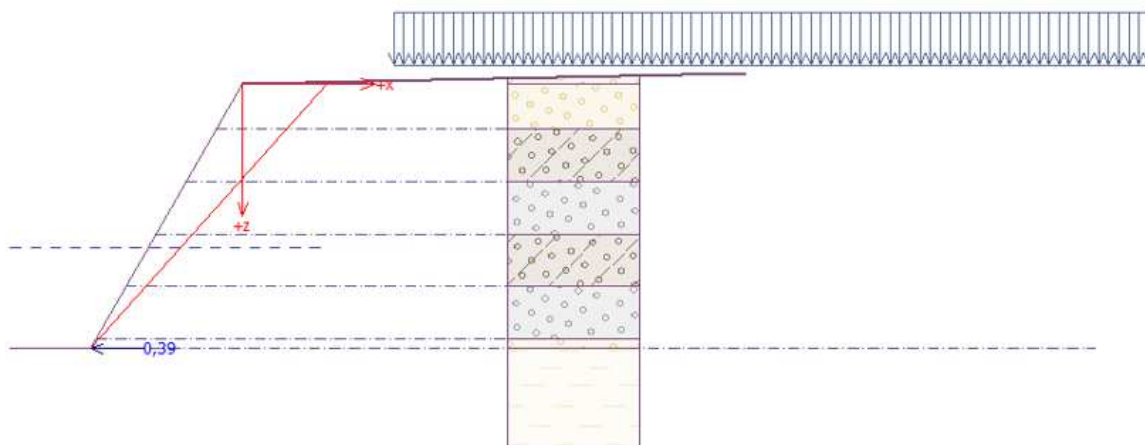


Obrázok 23: Posúdenie svahu vystužené násypy – posunutie po výstuhe [4]

4.5.4 Vnútoraná stabilita

Vnútoraná stabilita posudzuje geovýstuhy na pretrhnutie a vytrhnutie zo zemného masívu. Zadaním v poli sa posúdia jednotlivé výstuhy. Zaškrknutím voľby automatické posúdenie sa posudzujú všetky výstuhy. Výsledok zobrazuje posúdenie najkritickejšej výstuhy.

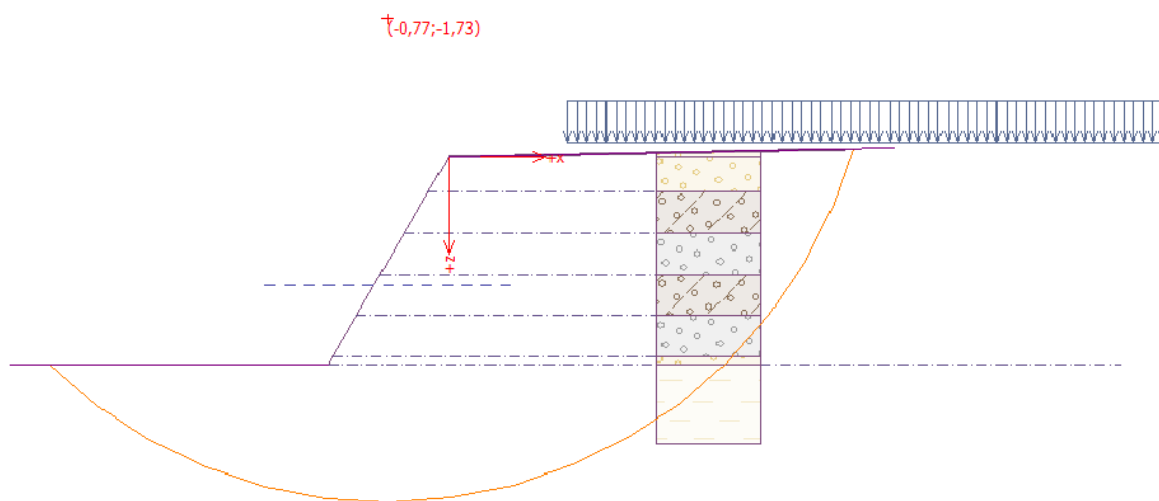
Posúdenie na pretrhnutie berie do úvahy únosnosť na pretrhnutie $R_t = 80 \text{ kN/m}$ a silu v geovýstuhe $F_x = 0,39 \text{ kN/m}$, z toho vyplýva, že posúdenie na pretrhnutie vyhovuje na 0,5 %. Posúdenie na vytrhnutie $T_p = 651,52 \text{ kN/m}$ a sila v geovýstuhe $F_x = 0,39 \text{ kN/m}$ stav vyhovuje na 0,1 %. Z posúdenia na pretrhnutie a vytrhnutie výstuže je zrejmé, že výsledky nepresiahli 1 % a preto je geovýstuha pomerne predimenzovaná. (obr. 24) [5]



Obrázok 24: Posúdenie svahu vystužené násypy – vnútorná stabilita [4]

4.5.5 Globálna stabilita

V globálnej stabilite sa posudzuje stabilita svahu na kruhovej šmykovej ploche. Zadáva sa parametre šmykovej plochy (stred a polomer alebo zadanie ručne pomocou troch bodov) A metóda výpočtu podľa Bishopa, Pettersona, Spencera, Jambu a Morgenstern-Price. Zaškrknutím voľby optimalizovať sa počíta stabilita na najkritickejšej šmykovej ploche. Pre jednu zadanú úlohu ide použiť viac výpočtov. Pri pozretí výsledkov je možné zistiť výsledné parametre šmykovej plochy a stupeň bezpečnosti. (obr. 25)



Obrázok 25 : Posúdenie svahu vystužené násypy – globálna stabilita [4]

Parametre šmykovej plochy v globálnej stabilite (šmyková plocha po optimalizácii)
Stred $S = (-0,77; -1,73) m$, polomer $r = 6,09 m$, uhol $\alpha_1 = -44,28^\circ$, uhol $\alpha_2 = 74,49^\circ$. Z parametrov je vypočítané posúdenie na základe Bishopovej metódy, $FS = 2,46 > 1,50$ a stav je vyhovujúci. [5]

4.6 Modelácia výstuh

Na základe výsledkov modelovania výstuh v programe GEO5 – stabilita svahu kedy vyšla Bishopová a Pettersonova metóda značne predimenzovaná boli upravené dĺžky geovýstuh. Tabuľka zobrazuje výsledky pri rôznom upravovaní geomreží. V novom stave rekonštrukcie boli navrhnuté výstuhy s kotevnou dĺžkou 4 metre vo výške svahu 0,6 – 1,5 metra a nad 2 metre kotevná dĺžka 5 metrov. V tabuľke 8 sú tieto výstuže popísané ako 4/5m.

| Rozmery výstuže vrchné/spodné | Metóda | Stupeň stability | Vyhovuje/ Nevyhovuje | Posúdenie na posunutie /preklopenie (%) |
|----------------------------------|-----------|---------------------|-------------------------|--|
| 4/5 m | Bishop | $4,17 > 1,50$ | Vyhovuje | 5,4%/0,6% |
| | Petterson | $5,00 > 1,50$ | Vyhovuje | |
| 3/4 m | Bishop | $3,54 > 1,50$ | Vyhovuje | 5,4%/0,6% |
| | Petterson | $3,93 > 1,50$ | Vyhovuje | |
| 2/3 m | Bishop | $2,13 > 1,50$ | Vyhovuje | 5,6%/0,6% |
| | Petterson | $1,96 > 1,50$ | Vyhovuje | |
| 1,5/2,5 m | Bishop | $1,73 > 1,50$ | Vyhovuje | 5,7%/0,7% |
| | Petterson | $1,50 = 1,50$ | Vyhovuje | |

Tabuľka 7: Stupeň stability svahu pri zmene dĺžky geovýstuh [4]

Na základe tabuľky je zrejmé, že výstuhy sú predimenzované a zosuv svahu nastane až v prípade kedy budú mať prvé tri výstuhy dĺžku 1 meter a ďalšie dve spodné výstuže 2 metre. V prípade 1,5/2,5 m vychádza Pettersonova metóda rovnako ako hranica, ale program GEO5 uviedol, že stav je vyhovujúci.

5 Záver

Bakalárska práca sa zaoberá problematikou zosuvu svahu pod cestnou komunikáciou a poklesu vozovky. Vplyvom nefunkčného odvodnenia pozdĺž komunikácie a nevhodného podložia došlo k podmočeniu cestného násypu a jej následnému poklesu. Riešená oblasť sa nachádza v Libereckom kraji, konkrétne na okraji obce Svojkov.

Hlavným cieľom tejto práce bolo posúdenie stability svahu pred sanáciou a následne posúdenie stavu po sanácii, ktorá bola navrhnutá a realizovaná firmou zameranou na rozvoj infraštruktúry miest a regiónu. Na základe geologickej správy, ktorej súčasťou je geologický prieskum, bol vymodelovaný model v programe GEO5. V programe boli používané moduly stabilita svahu a vystužené násypy.

Pre potreby modelovej analýzy bolo nutné popísať geologickú, geomorfologickú a hydrogeologickú štruktúru v záujmovej oblasti, ktoré sú uvedené v úvode práce. Pre lepšiu prehľadnosť boli popísané metódy, ktoré sú použité v tejto práci pri posúdení stability svahu. Jedná sa o metódu Bihopovu a Pettersonovu. Následná kapitola priliehala podrobnejšiemu popísaniu programu GEO5.

V modelovej analýze bolo zistené, že stav pred sanáciou nevyhovuje na stabilitu svahu ani v prípade keď hladina podzemnej vody nevystúpala na úroveň cestného násypu. Podrobné výsledky sú zobrazené v kapitole 4.3. tabuľke č. 6.

Kapitolu 4.2. bola venovaná armovaním zeminám. V tomto úseku bola popísané obaľované čelá, technológia, výšky vrstiev, typy zemín, ktoré sa používajú ale aj typy zemín ktoré sa používať nemôžu.

Ďalšia časť bola zameraná na sanáciu stavby a následné posúdenie v oboch spomenutých moduloch programu. Ako prvá modelovaná situácia je stabilita svahu, ktorá bola podrobne popísaná a rozkreslená v kapitole 4.3. Ďalší krok sanovanej stavby je namodelovaný v module vystužené zeminy. V tejto kapitole sú detailnejšie popísané výsledky únosnosti, posunutie po výstuži, vnútorná stabilita a globálna stabilita. Výsledky sú popísané v kapitole 4.5., kde každý výsledok má svoju vlastnú podkapitolu.

Posledná kapitola bola venovaná úprave výstuží, kedy boli menené dĺžky jednotlivých výstuh pre zistenie, aká vzdialenosť stačí aby stav vyhovoval. Výsledky tohto prieskumu sú zobrazené v kapitole 4.6. tabuľka 7.

Pod'akovanie :

Prostredníctvom nasledujúcich riadkov by som rád poďakoval vedúcej bakalárskej práce, paní Ing. Barbare Lunáčkovej Ph.D., za príjemné, bezproblémové vedenie a rýchlu odozvu pri akejkoľvek situácii.

Zoznam literatúry a odkazov:

- [1] BARTÁK, Tomáš a Michaela SEDLECKÁ. *II/268 – DEFORMACE KOMUNIKACE A HAVÁRIE PROPUSTKU SVOJKOV: Technická zpráva*. Praha, 2015.
- [2] Česká geologická služba . *Česká geologická služba : Svahové nestability* . [online]. 2014 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/
- [3] Dynamická penetračná skúška. *UNIGEO Slovensko*. [online]. 2016 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.unigeoslovensko.sk/sk/polne-geotechnicke-skusky/tazka-dynamicka-penetracna-skuska-dph>
- [4] Fine. *Fine civil engineering software: Geotechnický software GEO5*. [online]. 2016 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/geotechnicky-software/>
- [5] Fine.spol. Uživatelská příručka . *GEO5* . [online]. 2016 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: www.fine.cz
- [6] Geoportál Libereckého kraje. *GeoPortál: Gemorfologie*. [online]. [2015] [cit. 2016-03-3]. Dostupné z: <http://geoportal.kraj-lbc.cz/geomorfologie>
- [7] Geosyntetika v zemním tělese pozemních komunikací. *TP 97* . [online]. 2008 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%2097.pdf>
- [8] Googlemaps.com. © *Prispievatelia OpenStreetMap: Googlemaps.cz*. [online]. 14.4.2014 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/@50.7156159,14.6097404,179m/data=!3m1!1e3?hl=sk>
- [9] HOLÝ, Miloš. *Odvodňovací stavby*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. s. 468
- [10] Jan Petránek. Geologická encyklopedie. *Česká křídová pánev: Česká tabule*. [online]. 2007 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?ceska_kridova_panev
- [11] HYRMAN, Jaroslav. Posouzení stability svahu jílovitých zemin . *Stabilita svahu*. [online]. 2009 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/211733/prif_b/Reserse_Hyrman.pdf
- [12] *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací*. ČSN 736133, 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

- [13] DAUBNER, Petr. Regionální geomorfologické členění České Republiky. *Geomorfologie: Česká tabule*. [online]. 24. 6. 2014 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.kompas.estranky.cz/clanky/ucebnice-zemepisu/geomorfologicke-cleneni-cr-petr-daubner.html>
- [14] OpenStreetMap. © *Prispievatelia OpenStreetMap: Mapy.cz*. [online]. 11.4.2016 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.5976680&y=50.7183772&z=14>
- [15] Pozice Českého masivu a Západních Karpat v rámci geologické stavby Evropy.. *Geologie*. [online]. 1988 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/reg_geol_cr/1_kapitola.htm
- [16] STANEK, Jaroslav a Robert KOŘÍNEK. *Hornická mechanika zemin: stabilita svahů*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. s. 236. ISBN 80-7078-103-3.
- [17] Svahové nestability. *Česká geologická služba*. [online]. 2012 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/svahovenestability/pojmy>
- [18] ÚZEMNĚ ANALYTICKÉ PODKLADY ORP Česká Lípa. *Podklady pre rozbor udržiteľného rozvoje uzemí*. [online]. 2014 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://www.mucl.cz/customers/mucl/ftp/File/UUUP/UAP/2014/A_PRURU.pdf
- [19] VALENTA, Jan. *INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM PRO REKONSTRUKCI PROPUSTKU NA KOMUNIKACI II/268 V OBCI SVOJKOV U ČESKÉ LÍPY: Geologická zpráva*. Praha, 2015.
- [20] Zvláštne zemné konštrukcie . *TKP*. [online]. 15.11.2014 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://www.ssc.sk/files/documents/technicke-predpisy/tkp/tkp_31_2014.pdf

Zoznam noriem:

ČSN 73 1001 - Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy

ČSN 72 1002 - Klasifikace zemin pro dopravní stavby

ČSN 73 0037 - Zemní tlaky na stavební konstrukce

ČSN 73 6133 - Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

ČSN EN ISO 14688 - Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin

Zoznam použitých obrázkov:

| | |
|--|----|
| Obrázok 1: Prehľadná situácia oblasti stavby – Svojkov [14] | 1 |
| Obrázok 2: Zjednodušená koordinačná situácia [1] | 2 |
| Obrázok 3 : Vyššie geomorfologické jednotky v ČR [6] | 3 |
| Obrázok 4 : Hranice geomorfologických jednotiek Libereckého kraja [6] | 4 |
| Obrázok 5 : Pohľad na cestnú komunikáciu II/268 [8] | 5 |
| Obrázok 6: Svahová nestabilita Libereckého kraja [2] | 6 |
| Obrázok 7 : Geologická mapa Svojkov a okolie [2] | 8 |
| Obrázok 8 : Situácia prevedených IG práci (V1: vŕtaná sonda, P1 – P4: penetrácia) [19] | 9 |
| Obrázok 9 : Metráž vrtu V1, 0-3m. [19] | 11 |
| Obrázok 10: Metráž vrtu V1, 3-4,5m. [19] | 11 |
| Obrázok 11: Mapa zobrazujúca podmočené územie [2] | 12 |
| Obrázok 12: Pettersonova metóda - rozloženie prúžkov [11] | 13 |
| Obrázok 13: Priechy rez, zeminy GT [4] | 20 |
| Obrázok 14: Pôvodný stav pred sanáciou, pred zvýšením hladiny podzemnej vody [4] | 22 |
| Obrázok 15: Pôvodný stav pred sanáciou po zvýšení hladiny podzemnej vody [4] | 23 |
| Obrázok 16: Armované zeminy – založenie líca svahu [7] | 25 |
| Obrázok 17: Svojkov – založenie geomreží [1] | 26 |
| Obrázok 18: Svojkov – založenie líca stavby [1] | 28 |
| Obrázok 19: Výkres - priečny rez [1] | 30 |
| Obrázok 20: Sanovaný stav - program stabilita svahu [4] | 31 |
| Obrázok 21: Posúdenie svahu vystužené násypy - preklopenie [4] | 33 |
| Obrázok 22: Posúdenie svahu vystužené násypy – únosnosť [4] | 34 |
| Obrázok 23: Posúdenie svahu vystužené násypy – posunutie po výstuhe [4] | 35 |
| Obrázok 24: Posúdenie svahu vystužené násypy – vnútorná stabilita [4] | 36 |

| | |
|--|----|
| Obrázok 25 : Posúdenie svahu vystužené násypy – globálna stabilita [4] | 37 |
|--|----|

Zoznam tabul'ky:

| | |
|---|----|
| Tabuľka 1 : Legenda geologickej mapy Svojkov a okolie [2] | 8 |
| Tabuľka 2: Geologická dokumentácia sondy [19] | 10 |
| Tabuľka 3: Parametre vrstvy GT 1.1 [19] | 20 |
| Tabuľka 4: Parametre vrstvy GT 1.2 [19] | 20 |
| Tabuľka 5: Parametre vrstvy GT 2 [19] | 20 |
| Tabuľka 6: Prehľad stupňov stability [4] | 23 |
| Tabuľka 7: Stupeň stability svahu pri zmene dĺžky geovýstuh [4] | 38 |